



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“PROPUESTA DE UN MODELO DE CONFIABILIDAD BASADO EN EL CONTEXTO OPERATIVO DEL BLOQUE 57 LIBERTADOR PARA EL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA EN LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP”**

**JOSÉ EDUARDO ARIAS VITERI**

**Proyecto de Investigación, presentado ante el Instituto de Postgrado y  
Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la  
obtención del grado de Magíster en GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL.**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**ABRIL 2016**



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado "PROPUESTA DE UN MODELO DE CONFIABILIDAD BASADO EN EL CONTEXTO OPERATIVO DEL BLOQUE 57 LIBERTADOR PARA EL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA EN LA EMPRESA PETROAMAZONAS EP", de responsabilidad del Sr José Eduardo Arias Viteri, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Verónica Mora Chunllo; M.sc.

**PRESIDENTA**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Ing. Carlos Álvarez Pacheco; M.sc.

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Dr. Marco Haro Medina; M.sc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Ing. Ángel Guamán Mendoza; M.sc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
**COORDINADOR SISBIB ESPOCH**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Riobamba, abril del 2016.

### **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, José Eduardo Arias Viteri, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

FIRMA  
180318527-9

### **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, José Eduardo Arias Viteri, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor/a, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 28 de abril de 2016

---

José Eduardo Arias Viteri  
CI No 180318527-9

## **AGRADECIMIENTO**

La vida siempre nos coloca en el camino a las personas adecuadas, para poder consolidar amistad, cariño, amor, hoy con mis años he aprendido que el verdadero valor está en la amistad y la riqueza obtenida; cuenta como el número de amigos que puedan ayudarnos.

Es por eso que agradezco a mi bella esposa Marcela, por todo el apoyo, empuje y cariño siempre presente, a mi hija Karla por ser el motor de amor que me impulsa para seguir adelante, a mis amigos, por su preocupación de saber cuánto falta para finalizar el proyecto, al cuerpo docente, especialmente a Luis Felipe por los aportes contribuidos.

Y por supuesto, a mis amigos y mentores, miembros del tribunal, Carlos, Ángel y Marco por todo el apoyo incondicional y por haber sabido guiar con éxito hasta la culminación de este trabajo.

Es posible que algún día ya no compartamos el mismo entorno, pero siempre habrá quien los recuerde si aún sigo aquí.

Atentamente, su amigo. José Eduardo.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página.
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ECUACIONES .....	xii
TÉRMINOS ABREVIADOS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi

## CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Problema de investigación.....	3
1.1.1	<i>Planteamiento del problema</i> .....	4
1.1.1.1	<i>Ubicación</i> .....	4
1.1.1.2	<i>Antecedentes</i> .....	7
1.1.1.3	<i>Situación actual</i> .....	8
1.1.2	<i>Árbol del problema</i> .....	9
1.1.3	<i>Formulación del problema</i> .....	11
1.1.4	<i>Sistematización del problema</i> .....	11
1.1.5	<i>Objetivos de la investigación</i> .....	12
1.1.5.1	<i>Objetivo general</i> .....	12
1.1.5.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	12
1.1.6	<i>Justificación de la investigación</i> .....	12
1.1.6.1	<i>Justificación práctica.</i> .....	13
1.1.7	<i>Hipótesis</i> .....	14
1.1.7.1	<i>Hipótesis de investigación</i> .....	14

## CAPÍTULO II

2	<b>MARCO DE REFERENCIA .....</b>	15
2.1	<b>Estado del arte.....</b>	15
2.2	<b>Marco teórico.....</b>	16
2.2.1	<b>Definiciones y Terminología.....</b>	16
2.2.2	<b>Datos del fallo.....</b>	17
2.2.3	<b>Tipo de datos.....</b>	18
2.2.3.1	<i>Datos censurados.....</i>	18
2.2.3.2	<i>Datos Completos.....</i>	19
2.2.4	<b>Población y muestra.....</b>	19
2.2.5	<b>Modelado de datos.....</b>	20
2.2.6.	<b>Estimación paramétrica y no paramétrica.....</b>	20
2.2.7.	<b>Estimador Kaplan Meiers.....</b>	20
2.2.8.	<b>Regresión lineal simple.....</b>	21
2.2.8.1.	<i>Bondad de ajuste o coeficiente de determinación (R2).....</i>	22
2.2.8.2.	<i>Propiedades de R2.....</i>	23
2.2.9.	<b>Fiabilidad basada en el modelo exponencial.....</b>	23
2.2.9.1.	<i>Linealización de la distribución exponencial.....</i>	24
2.2.10.	<b>Fiabilidad basada en el modelo Weibull.....</b>	25
2.2.10.1.	<i>Linealización de la distribución Weibull.....</i>	26
2.2.11.	<b>Diagrama de bloques de fiabilidad (RBD).....</b>	29
2.2.11.1.	<i>Fiabilidad sistemas en serie.....</i>	29
2.2.11.2.	<i>Fiabilidad sistemas en paralelo.....</i>	30
2.2.11.3.	<i>Sistemas compuestos.....</i>	30
2.2.12.	<b>Curva de la bañera y tasa de fallos.....</b>	31
2.2.13.	<b>Confiabilidad.....</b>	32
2.2.14.	<b>Disponibilidad A (t).....</b>	32
2.2.14.1.	<i>Matemáticas de la disponibilidad.....</i>	33
2.2.14.2.	<i>Tiempo medio para fallar (TMTF).....</i>	34
2.2.14.3.	<i>Número de fallas.....</i>	34
2.2.15.	<b>Fiabilidad R (t).....</b>	35
2.2.16.	<b>Mantenibilidad M (t).....</b>	35
2.2.16.1.	<i>Tasa de reparación.....</i>	35

2.2.17.	<i>Formato de datos estandarizado.....</i>	36
2.2.18.	<i>Descripción límites.....</i>	37
2.2.19.	<i>Taxonomía.....</i>	38
2.2.20.	<i>Tiempos de mantenimiento.....</i>	39
2.2.21.	<i>Estandarización de datos para el fallo.....</i>	40
2.3.	<b>Software “Máximo para Oil&amp;Gas”.....</b>	41
2.4.	<b>Software “Relex 2009 versión evaluación”, características RBD.....</b>	41
2.5.	<b>Offshore Reliability Data (OREDA).....</b>	42

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>METODOLOGÍA.....</b>	43
3.1.	<b>Diseño de investigación. (Métodos y materiales).....</b>	43
3.1.1.	<i>Modalidades investigación, Diseño y adquisición de datos.....</i>	43
3.1.2.	<i>Diseño y adquisición de datos.....</i>	43
3.1.3.	<i>Tipos o niveles de investigación.....</i>	46
3.1.4.	<i>Límites del sistema de reinyección de agua.....</i>	47
3.1.5.	<i>Población.....</i>	48
3.1.6.	<i>Entorno.....</i>	48
3.1.7.	<i>Intervenciones.....</i>	49
3.1.8.	<i>Análisis estadístico.....</i>	54

### **CAPÍTULO IV**

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	59
4.1.	<b>Resultados campo Atacapi.....</b>	59
4.1.1.	<i>Discusión campo Atacapi.....</i>	61
4.2.	<b>Resultados campo Frontera.....</b>	61
4.2.1.	<i>Discusión campo Frontera.....</i>	63
4.3.	<b>Resultados campo Secoya.....</b>	64
4.3.1.	<i>Discusión campo Secoya.....</i>	66
4.4.	<b>Resultados campo Shuara.....</b>	69
4.4.1.	<i>Discusión campo Shuara.....</i>	71
4.5.	<b>Resultados campo Shushuqui.....</b>	72
4.5.1.	<i>Discusión campo Shushuqui.....</i>	74
4.6.	<b>Resultados campo Pichincha.....</b>	75



4.6.1.	<i>Discusión campo Pichincha.....</i>	77
4.7.	<b>Resultados campo Tapi.....</b>	77
4.7.1.	<i>Discusión campo Tapi.....</i>	78
4.8.	<b>Resultados campo Tetete.....</b>	79
4.8.1.	<i>Discusión campo Tetete.....</i>	81
4.9.	<b>Análisis con software Relex 2009 versión evaluación.....</b>	81
4.10.	<b>Análisis con datos OREDA 2009.....</b>	82
4.11	<b>Comprobación de hipótesis en base a T Student.....</b>	83
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	86
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	88
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## ANEXOS

### ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 2–1: Funciones del modelo exponencial dos parámetros.....	23
Tabla 2–2: Funciones del modelo exponencial de un parámetro.....	24
Tabla 2–3: Funciones del modelo Weibull de dos parámetros.....	26
Tabla 3–1: Codificación, reinyección de agua, Bloque 57 Libertador.....	44
Tabla 3–2: Codificación, equipos asociados al sistema de reinyección de agua.....	45
Tabla 3–3: Ubicación de equipos en sistemas de reinyección de agua.....	49
Tabla 3–4: Registros de falla para cámaras de empuje bloque 57 Libertador.....	51
Tabla 3–5: Cálculos Kaplan meiers, datos de falla, cámaras de empuje.....	55
Tabla 3–6: Análisis Weibull para cámaras de empuje.....	56
Tabla 3–7: Análisis exponencial para cámaras de empuje.....	57
Tabla 4–1: Diferencias entre unidades HPS, campo Shuara.....	69
Tabla 4–2: Diferencias entre unidades HPS, campo Pichincha.....	75
Tabla 4–3: Diferencias entre unidades HPS, campo Tetete. ....	80
Tabla 4–4: Base de datos ORDEDA, bombas inyección de agua .....	82
Tabla 4–5: Estimación MTTF, bombas inyección de agua .....	83
Tabla 4–6: Resultados prueba de hipótesis T student muestras relacionadas.....	84
Tabla 4–7: Plan de capacitación personal técnico de mantenimiento B57 LI.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1–1	Ubicación geográfica, Bloque 57 LI..... 4
Figura 1–2	Diagrama de bloque, proceso extracción del petróleo. .... 5
Figura 1–3	Unidad de bombeo Horizontal..... 7
Figura 1–4	Árbol del problema. .... 10
Figura 2–1	Diferencia entre población y muestra. .... 19
Figura 2–2	Linealización mediante Microsoft Excel. .... 28
Figura 2–3	Relación curva de la bañera, exponencial-Weibull. .... 31
Figura 2–4	Ejemplo de diagrama de límite (bombas). .... 38
Figura 2–5	Taxonomía..... 39
Figura 2–6	Tiempos de mantenimiento..... 40
Figura 3–1	Diagrama de límites en sistemas de reinyección..... 47
Figura 3–2	Población de equipos sistemas de reinyección de agua..... 48
Figura 3–3	Linealización mediante análisis Weibull, cámaras de empuje..... 56
Figura 3–4	Linealización mediante análisis Exponencial, cámaras de empuje. .... 57
Figura 4–1	Distribución sistema de reinyección agua, campo Atacapi..... 59
Figura 4–2	RBD sistema de reinyección agua, campo Atacapi, 3000 horas..... 60
Figura 4–3	Distribución sistema de reinyección agua, campo Frontera..... 61
Figura 4–4	RBD sistema de reinyección agua, campo Frontera, 3000 horas..... 62
Figura 4–5	Distribución de equipos sistema de reinyección agua campo Secoya..... 64
Figura 4–6	RBD reinyección Secoya, contexto operativo anterior, 3000 horas..... 65
Figura 4–7	RBD reinyección Secoya, contexto operativo actual, 3000 horas..... 67
Figura 4–8	RBD reinyección Secoya, contexto operativo actual, 8760 horas. .... 68
Figura 4–9	Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Shuara. .... 69
Figura 4–10	RBD sistema de reinyección agua, campo Shuara, 3000 horas. .... 70
Figura 4–11	RBD sistema de reinyección agua, campo Shuara, 8760 horas. .... 71
Figura 4–12	Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Shushuqui..... 72
Figura 4–13	RBD reinyección Shushuqui 03, contexto operativo anterior, 3000 horas..... 73
Figura 4–14	RBD reinyección Shushuqui, contexto operativo actual, 3000 horas..... 74
Figura 4–15	Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Pichincha..... 75
Figura 4–16	RBD sistema de reinyección agua, campo Pichincha, 3000 horas..... 76
Figura 4–17	Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Tapi..... 77
Figura 4–18	RBD sistema de reinyección agua, campo Tapi, 3000 horas..... 78
Figura 4–19	Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Tetete..... 79

Figura 4–20	RBD sistema de reinyección agua Tetete .....	80
Figura 4–21	Resultados simulación software Relex 2009, reinyección agua Tetete.....	81
Figura 4–22	Resultados estimación de fiabilidad lamda ( $\lambda$ ) empírico y con análisis.....	84

## LISTA DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 2-1	Valor de la función de supervivencia.....	21
Ecuación 2-2	Valores sucesivos de la función de supervivencia.....	21
Ecuación 2-3	Función de regresión.....	21
Ecuación 2-4	Varianza Total.....	22
Ecuación 2-5	Función logaritmo neperiano exponencial.....	24
Ecuación 2-6	Función exponencial linealizada.....	24
Ecuación 2-7	Tasa de fallos exponencial.....	25
Ecuación 2-8	Función logaritmo neperiano Weibull.....	27
Ecuación 2-9	Función Weibull linealizada .....	27
Ecuación 2-10	Fiabilidad del sistema en serie.....	29
Ecuación 2-11	Fiabilidad del sistema en paralelo .....	30
Ecuación 2-12	Disponibilidad operacional.....	33
Ecuación 2-13	Disponibilidad intrínseca.....	33
Ecuación 2-14	El tiempo medio entre fallos .....	33
Ecuación 2-15	El tiempo medio para fallar .....	34
Ecuación 2-16	Número de fallas.....	34
Ecuación 2-17	Tasa de reparación.....	35
Ecuación 2-18	Mantenibilidad.....	36
Ecuación 3-1	Tiempo medio entre fallas Weibull.....	56
Ecuación 4-1	Estimación de tasa de fallos mediante OREDA.....	82

## TÉRMINOS ABREVIADOS

A	Disponibilidad	OREDA	Proyecto para la recopilación de datos de Confiabilidad y mantenimiento de equipo industrial de gas y petróleo.
BAPD	Barriles de agua por día		
BRA	Bombeo reinyección de agua	PM	Mantenimiento preventivo.
Booster	Bomba alimentadora.	P&ID	Diagrama de instrumentación y proceso.
BEN	Punto de referencia o “benchmarking”	PSD	Suspensión del proceso.
CAPEX	Gastos de capital	PSV	Válvula de seguridad de procesos.
CBM	Monitoreo bajo condición	R	Confiabilidad
CMMIS	Sistema de información y gestión de mantenimiento computarizado	RA	Confiabilidad y disponibilidad.
ESD	Parada de emergencia	RAM	Confiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad
FTA	Análisis árbol de fallas	RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad
FMECA	Análisis de modo de falla, efecto y criticidad.	RM	Confiabilidad y mantenimiento
HPS	Horizontal Pump System	R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinación.
KPI	Indicadores de rendimiento clave	RS	Fiabilidad del sistema
LCC	Coste del ciclo de vida	TCH	Cámara de empuje
M	Mantenibilidad	TTF	Tiempo al fallo
MI	Elemento mantenible	TTR	Tiempo para reparar
MTBF	Tiempo medio entre fallos	$\lambda$	Tasa de Fallos
MTTF	Tiempo hasta el fallo	$\gamma$	(Gamma) factor de desplazamiento
MTTR	Tiempo medio para reparar	$\mu$	Tasa de reparación
MTTM	Tiempo medio para mantener	$\beta$	Parámetro de forma Weibull
WO	Orden de trabajo	$\eta$	Parámetro de escala Weibull
OPEX	Gastos operativos.	$\gamma$	Parámetro de localización

## ÍNDICE DE ANEXOS.

<b>Anexo A.</b>	Diagrama de flujo en una estación de producción de petróleo.
<b>Anexo B</b>	Terminología de mantenimiento basado en normativa internacional.
<b>Anexo C</b>	ISO 14224, (2006) Tabla 2, ejemplos de taxonomía (p.19).
<b>Anexo D</b>	Análisis por tipo de equipo, “PAM_WO_FailureCodes 1.rev1.xls”.
<b>Anexo E</b>	Formatos de código de falla norma ISO 14224:2006 (p.112 p.128).
<b>Anexo F</b>	Tasa de fallos equipos, contexto operativo del B57 Libertador.
<b>Anexo G</b>	Informe de Tear Down (apertura), bombas HPS, estación Frontera.
<b>Anexo H</b>	Informe de termografía, tanque de lavado, estación Secoya.
<b>Anexo I</b>	Informe de termografía, equipos estación Shuara.
<b>Anexo J</b>	Informe de termografía, tanque de lavado, estación Pichincha.
<b>Anexo K</b>	Informe de termografía, válvulas de descarga HPS, estación Tetete.
<b>Anexo L</b>	Resultados del software Relex versión evaluación, campo Tetete.
<b>Anexo M</b>	Análisis del modo y efectos de falla (AMEF) para HPS.
<b>Anexo N</b>	Mejora continua según expertos.
<b>Anexo O</b>	Limpieza de tanques en operación.

## RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad determinar la confiabilidad basado en un análisis real del contexto operativo, tomando en cuenta la disponibilidad intrínseca del sistema de reinyección de agua, asociados a la fiabilidad y mantenibilidad de los elementos que lo conforman, este estudio es realizado para el Bloque 57 Libertador, Provincia de Sucumbíos, Pacayacu [Parroquia]. La predicción de modos de fallo para evitar sus consecuencias es el objetivo principal de toda empresa, pues requiere aprender de la historia para mejorar el futuro al realizar análisis causa raíz y eliminar su recurrencia. La metodología utilizada fue la investigación de campo y registros históricos disponibles desde el año 2013, cuando se empiezan a registrar fallas en el software de gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas”, se utiliza técnicas de observación, revisión de: calidad de datos, reportes diarios de operación, diagramas de proceso, diagramas funcionales, métodos establecidos como análisis de bondad de ajuste para la distribución de probabilidad Exponencial y Weibull. Los resultados de fiabilidad para los 7 tipos de equipos que intervienen en el sistema de reinyección de agua se correlacionaron en base a las fallas por tipo de equipo en toda la población disponible para el bloque 57 Libertador, de esta manera se establece el diagrama de bloques de fiabilidad, con lo cual se logra predecir un valor de probabilidad de fallo en un tiempo estimado para cada sistema. Finalmente se puede proponer acciones para evitar que la fiabilidad del sistema sea inferior a 50% en un periodo de 3000 horas de funcionamiento continuo y la disponibilidad intrínseca de los sistemas sea inferior a 99.9% gracias a la intervención oportuna de mantenimiento, se recomienda implementar el modelo planteado en esta investigación para obtener mejores resultados.

Palabras Claves: <CONFIABILIDAD DEL CONTEXTO OPERATIVO>, <FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD>, <BLOQUE 57 LIBERTADOR>, <SUCUMBIOS [PROVINCIA]>; <PACAYACU [PARROQUIA]>; <REGISTRO DE MODOS DE FALLO>, <SOFTWARE MAXIMO OIL&GAS>, <DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EXPONENCIAL Y WEIBULL>, <DISPONIBILIDAD INTRINSECA>.



## ABSTRACT

This research work has as purpose to determine the reliability of the water reinjection system in block 57 Liberator, Sucumbios Province, Pacayacu [Parish], which is based on a real analysis of the operational context, taking into account the intrinsic availability, associated with the reliability and maintainability of the elements that comprise it. The main objective of any company is predicting failure modes to prevent the consequences that this entails, since it requires learning of the previous history to make improvements in the future through a root cause analysis that would help eliminate its recurrence. The methodology used was the field research and historical records available since 2013, date in which it started to record failures in the “Maximum for Oil and Gas” maintenance and management software. It was also used observation techniques, revision of: data quality, operating daily reports, process diagrams, functional schematics and established methods such as analysis of goodness of-fit for the distribution Exponential probability and Weibull. The results of reliability for the 7 types of equipment involved in the water reinjection system were correlated based on failures by type of equipment throughout the available population to block 57 Liberator, this establishes the block diagram of reliability, with which it is possible to predict a value of probability of failure of an estimate for each system. Finally, it is possible to propose actions to prevent the reliability of the system from being lower than 50% in a period of 3000 hours of continuous operation, and the intrinsic availability of the systems from being lower than 99.9% thanks to the opportune maintenance intervention. It is recommended to implement the model proposed in this research for better results.

Keywords: <RELIABILITY OF OPERATIONAL CONTEXT>, <RELIABILITY AND MAINTAINABILITY>, <BLOCK 57 LIBERATOR> <SUCUMBIOS [PROVINCE]>; <PACAYACU [PARISH]>; <RECORD OF FAILURE MODES>, < MAXIMUM OIL-GAS SOFTWARE>, < EXPONENTIAL PROBABILITY DISTRIBUTION AND WEIBULL>, < INTRINSIC AVAILABILITY>.

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Se puede asegurar que el hombre ha creado máquinas a su imagen y semejanza para que sean un aporte y colaboren en alcanzar sus objetivos, pero el ser humano necesita cuidados adecuados para vivir más tiempo y con una mejor calidad de vida y aun así puede sufrir accidentes fatales por condiciones externas que incluso le pueden provocar la muerte, a este factor lo llamamos probabilidad.

De la misma manera, cualquier máquina, por óptimo que haya sido el diseño y elaboración, en algún instante debe presentar fallas, las cuales se recuperan con el trabajo de los especialistas de mantenimiento.

Pero cuando la operación está alejada de las condiciones para la cual fue creada, si el combustible o alimentación eléctrica es de mala calidad, si las condiciones de sobrecarga, desalineación, desbalance, y muchos factores externos están presentes, no se puede esperar otra cosa que los fallos imprevistos y el desgaste prematuro, con lo cual el tiempo medio hasta la falla que proporciona el fabricante es un dato inadecuado para cualquier análisis.

Entonces resulta necesario observar las verdaderas condiciones de funcionamiento, para estimar con mayor certeza la probabilidad de aparición de fallos en un equipo.

Es posible que el diseño sea perfecto para ciertas condiciones establecidas al inicio de la operación, o tal vez los materiales son de excelente calidad para un tipo de fluido, o simplemente se estimaba que quienes son los usuarios del equipo estuvieran más capacitados, pero resulta que solo son consideraciones iniciales y la realidad mantiene varias inconformidades.

Entiéndase que realizar análisis matemáticos de fiabilidad, no requiere simplemente de obtener datos y colocarlos en la pantalla de un ordenador, se trata de concebir la realidad en la que trabajan los equipos y analizar aspectos que el computador no puede expresar con números.

Crear un modelo de confiabilidad que concatene de forma holística todos estos factores y poder determinar donde existen errores para corregirlos o eliminarlos es el objetivo de esta investigación.

El capítulo I, presenta los problemas que actualmente afrontan el departamento de mantenimiento del B57 Libertador y particularmente los equipos del sistema de reinyección de agua, al no mantener una estandarización en los reportes de falla y no aplicar un modelo adecuado de fiabilidad para estimar proyecciones estadísticas, antes que ocurra una falla mayor.

Por tal motivo el Capítulo II, presenta la característica de calidad de datos que requiere ser ingresados a un computador y el lenguaje común que se debe utilizar, para esta investigación se dispone de un estándar internacional como es la norma ISO 14224:2006 “Industrias de petróleo y gas natural Recolección e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos”, la importancia de este tema es similar al proverbio “el reflejo de tu cuerpo es tu alimento”.

El Capítulo III, explica la metodología, de qué hacer con los datos obtenidos, se trata de obtener modelos estadísticos y matemáticos que sean aplicados en la empresa y con el apoyo de herramientas informáticas, realizar análisis de datos y presentar proyecciones futuras sobre esperanzas matemáticas de supervivencia, probabilidad de funcionamiento y fallo de cada sistema.

En Capítulo IV presenta un análisis de los resultados que se obtuvieron en cada uno de los sistemas de reinyección de agua asociado con la fiabilidad individual y distribuida de forma serie o paralelo.

Se presenta dos alternativas para el cálculo de diagrama de bloques de fiabilidad (RBD), mediante Microsoft Excel y el software Relx 2009 versión evaluación, de los dos se obtienen datos importantes como la fiabilidad, disponibilidad, número de fallos y tiempo medio entre fallas de cada sistema.

Se identifican los elementos que tienen menor fiabilidad y se realizaron propuestas para mejorar la fiabilidad del sistema, observando los periodos de mantenimiento preventivo y proyectar que la fiabilidad cae por debajo de valores inaceptables.

Este análisis y recomendaciones se basa en técnicas estandarizadas como: Análisis de los modos y efectos de falla (FMEA), basado en la norma EN 60812:2006 “Técnicas de análisis de la fiabilidad del sistema Procedimiento de modo de falla y análisis de los efectos”, además sugiere técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo que se debe aplicar a los equipos que conforman el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador.

### **1.1. Problema de investigación.**

¡Llaman a Mantenimiento! se escucha desesperadamente cuando existe un fallo, sin embargo; ¿qué tan importante es, cuando todo va bien?; generalmente las empresas no aceptan a mantenimiento como una gran fuente de ingresos económicos y que realmente es tan necesario como el proceso productivo.

Sexto ( 2015), menciona: ¡Los fallos imprevistos han provocado grandes pérdidas! se analiza y ¿cuántos recursos se ha invertido en evitar que ocurran nuevamente?, la respuesta es simple, los fallos seguirán ocurriendo porque siempre aparecerán condiciones indeseables, lo significativo es evitar que estos se repitan basados en análisis de datos estandarizados y registrados correctamente.

ISO 14224 (2006), en su introducción menciona que la estandarización y la práctica de recolección de datos es lo más importante para el proceso de mantenimiento, pues facilita el intercambio de información entre equipos, plantas, propietarios, fabricantes, etc.

Por lo tanto, es necesario plantear un modelo de confiabilidad para el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador, el cual concatene los conceptos de forma viable para demostrar que es mejor prevenir, (invertir), que lamentar, (afrontar altos costos), esto se puede lograr aplicando análisis estadísticos a los datos de fallo de cada tipo de equipo, mediante ello se puede garantizar decisiones técnicas y económicas, realizando intervenciones antes que ocurra una falla funcional.

ISO 14224 (2006), afirma que la recolección y estandarización de datos de falla es una inversión, pues al realizar análisis de estos datos y sistemas que permitan mejorar la recolección y transferencia de datos electrónicos, combinados una mejora de la gestión de mantenimiento, pueden dar lugar a una mejor calidad de los datos para fiabilidad y consecuentemente mejorar el resultado de la gestión de mantenimiento.

### 1.1.1. Planteamiento del problema.

#### 1.1.1.1. Ubicación.

El área del campo de producción “Bloque 57 Libertador” está localizado en la región amazónica del Ecuador en la provincia de Sucumbíos, geográficamente se encuentra ubicado en línea recta con Quito al noroeste del campo Shushufindi, entre las latitudes 00° 06 ‘00”N 00° 04’ 00” S y longitudes 76° 33’ 00” E 76° 36’ 30” O (ver figura 1-1).

Está conformada por los campos: Atacapi, Frontera, Pichincha, Secoya, Shuara, Shushuqui, Tapi y Tetete, actualmente mantiene una producción diaria aproximada de 100.000,00 Barriles de fluido de los cuales 80.000,00 barriles es agua de formación y 20.000,00 es Petróleo Crudo.

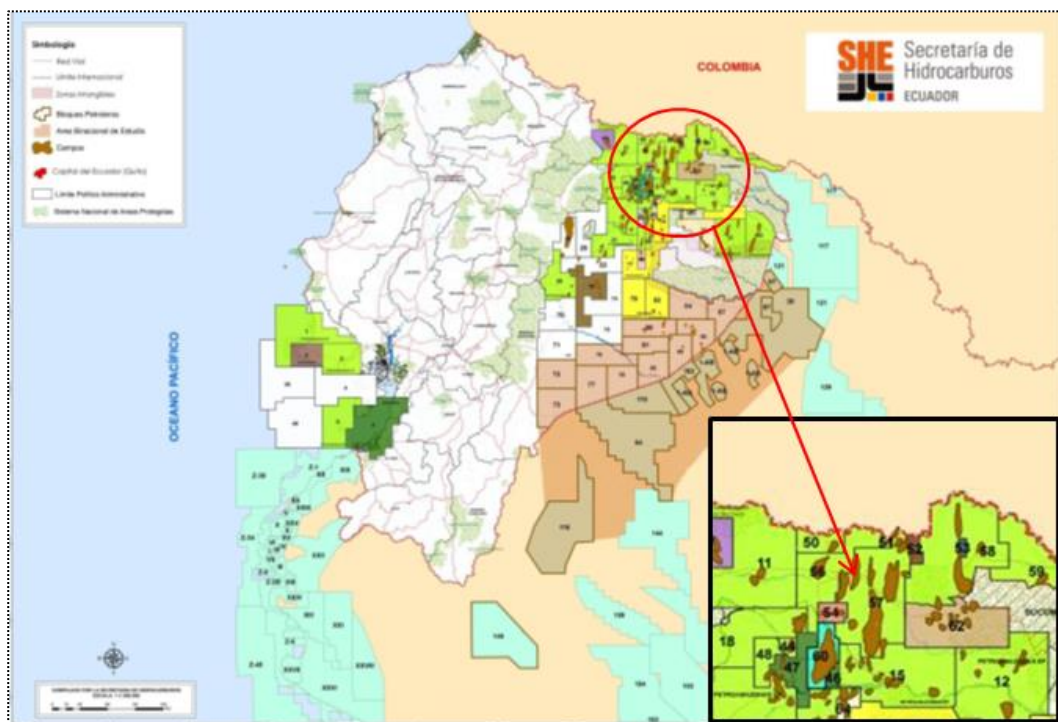
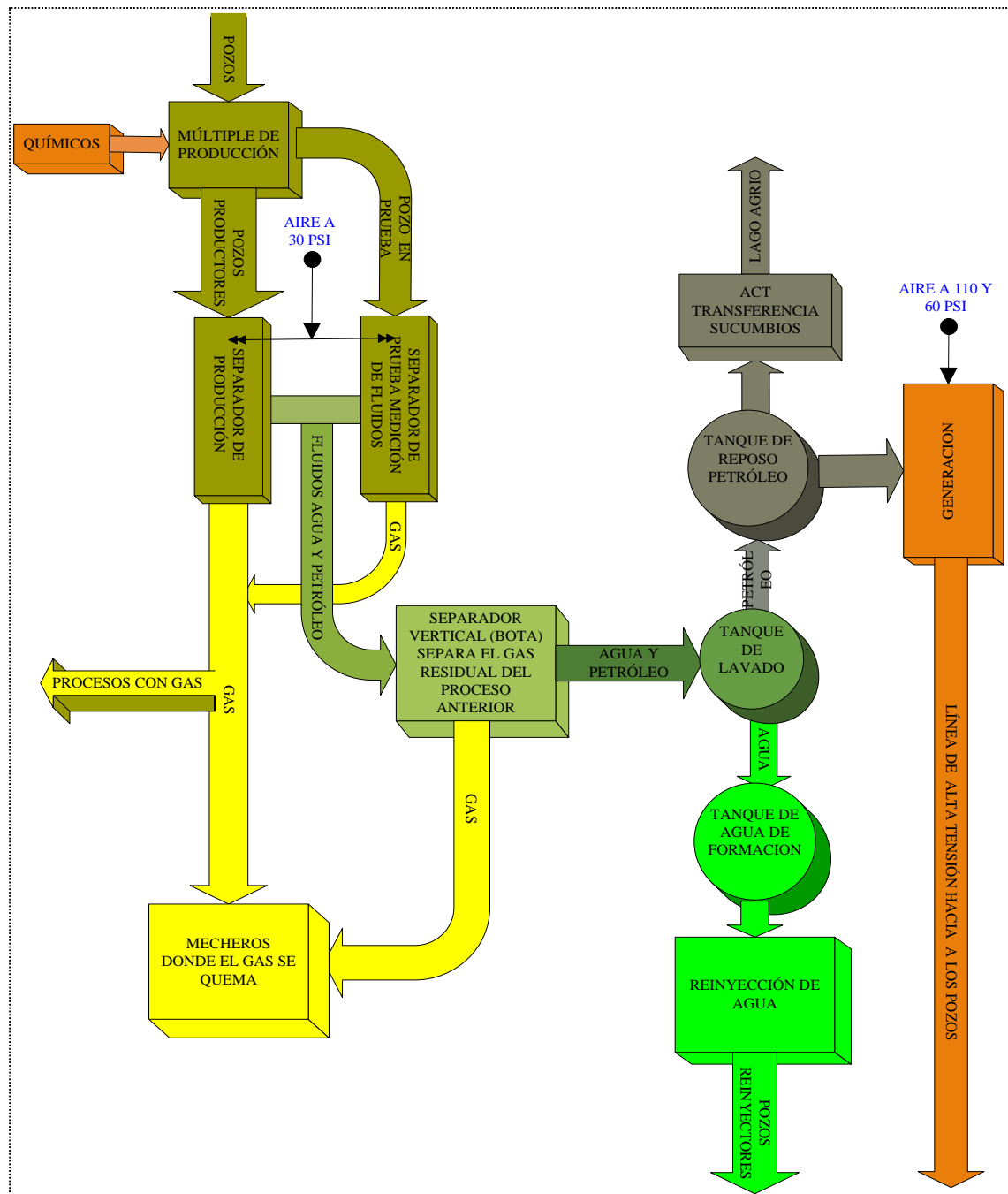


Figura 1–1: Ubicación geográfica, Bloque 57 LI

*Fuente: (Secretaría de hidrocarburos del Ecuador, 2015)*

En el Figura 1-2 se representa esquemáticamente como el fluido que se extrae del yacimiento por algún tipo de levantamiento artificial, está compuesto por agua de formación, gas y petróleo, mediante línea de flujo llega hasta un colector, (manifold o juego de válvulas) para ser

Para mejorar la separación se inyecta químicos que reaccionan de diferente manera: unos ayudan a evitar corrosión de las líneas (tuberías) y otros mejoran la deshidratación del hidrocarburo (separar el agua del petróleo).



*Fuente: Arias, José, 2015.*

El gas que se extrae en los separadores, se quema en mecheros o se utiliza en procesos industriales dependiendo de la cantidad y calidad de compuestos que disponga, el fluido líquido pasa al tanque de lavado en donde por efecto de la diferencia de densidades se separa el agua del petróleo.

El agua es más densa que el petróleo, por lo tanto el petróleo flota en el agua, se produce rebosamiento y el petróleo crudo es almacenado en el tanque de reposo, luego es transportado hasta el tanque de oleoducto a través de bombas de transferencia.

El agua de formación la cual es muy perjudicial para el ambiente por la cantidad de químicos y sales tóxicas que posee, requiere ser inyectada nuevamente al subsuelo a través de bombas de alta presión y gran volumen en pozos destinados para este fin.

El término de reinyección, se entiende como la disposición final del agua de formación, mediante la inyección de la misma en el subsuelo, para lo cual existen pozos adecuados para este fin, cumpliendo con las normativas de protección ambiental. El propósito es confinar las aguas en estratos o zonas que no sean productores o rentables, para lo cual, se debe ubicar y reacondicionar él o los pozos, analizados por el área de ingeniería de petróleos.

COLOMA, (2006) afirma que “se han hecho varios estudios para efectuar la reinyección adecuada de la totalidad de las aguas de formación producidas en el campo, de manera que minimicen los impactos ambientales, se preserve el entorno, la integridad física de la Población, Fauna y Flora de la Amazonía” (p.7).

Para este fin se utiliza el Sistema de Bombeo Horizontal (HPS) que es una bomba centrífuga de varias etapas montadas horizontalmente sobre un eje para aplicaciones de bombeo.

El sistema de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa consta de los siguientes componentes principales:

1. Estructura (skid viga de algún tipo de perfil).
2. Motor (eléctrico o de combustión interna).
3. Acople entre el motor y cámara de empuje.
4. Cámara de empuje (caja de rodamientos diseñada para soportar fuerzas axiales y radiales).
5. Sección de entrada.
6. Bomba centrífuga multi-etapa.
7. Controles eléctricos (panel-arrancador, variador de frecuencia).

8. Instrumentación, switches o transmisores de presión y de vibración.
9. Enfriador de aceite cuando las condiciones de trabajo son extremas.

En la figura 1-3, se presenta una de las unidades convencionales básicas, esto puede variar dependiendo de la configuración y estar en serie más de cuerpo de bomba o disponer de enfriador de aceite con radiador incluido.

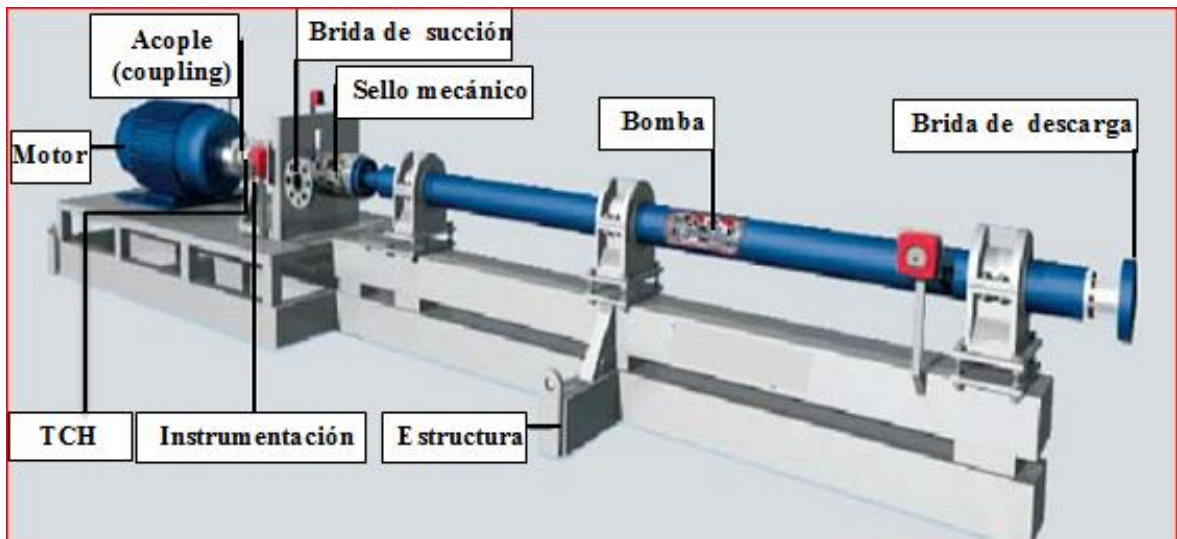


Figura 1-3: Unidad de bombeo Horizontal.

*Fuente: COLOMA, (2006), (p.8).*

#### *1.1.1.2. Antecedentes*

En enero del 2013, luego de la publicación oficial del Decreto Ejecutivo 1351-A, la empresa estatal Petroamazonas EP asume las operaciones y mantenimiento de la empresa estatal Petroproducción EP.

Con ello se inicia la migración y aplicación del software para gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas”, sobre los activos de los campos pertenecientes a la anterior empresa Petroproducción, no siendo la excepción el Bloque 57 Libertador (B57 L).

El cambio de enfoque de mantenimiento a través de un software, produce un efecto no esperado en las actividades de mantenimiento, la resistencia al cambio, la falta de conocimiento y capacitación para el nuevo sistema informático, sumado las limitaciones del personal de



mantenimiento en el conocimiento avanzado de ofimática, provoca que varias actividades no sean reportadas en el sistema y tampoco en registros impresos.

#### *1.1.1.3. Situación Actual.*

El personal de mantenimiento aprendió a llenar datos en el software “Máximo para Oil&Gas”, sin embargo no lo hace correctamente, es decir; no realiza un análisis de los reportes, en gran parte por falta de conocimiento y porque no aparenta cambio a partir de la aplicación del sistema.

No se cumplen las recomendaciones de la normativa ISO 14224, 2006, “Interpretación y registro de los parámetros de mantenimiento (p.112 p.128)”.

Se han revisado varios reportes de falla registrados en el software y se ha detectado que los modos de fallo en algunas ordenes de trabajo se detalló como: otros (OTH) y desconocido (UNK) lo que finalmente se puede apreciar, es que los datos ingresados al sistema, no son de gran ayuda para poder aplicar análisis automáticos de fiabilidad técnico-económicos y no resuelven problemas mayores por ser datos irreales y poco confiables.

La gran potencialidad del software “Máximo para Oil&Gas” no se utiliza en totalidad, no se dispone de información técnica completa y verdadera para los equipos, algunos procedimientos no se acoplan a la realidad del contexto operativo de los equipos disponibles en el Bloque 57 Libertador.

El software para gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas”, está diseñado en base a la norma ISO 14224:2006 y uno de los principales problemas es la falta de difusión de la norma en lenguaje español y la limitación de los técnicos de mantenimiento en el dominio de idioma inglés sumado a la falta de capacitación del manejo adecuado del sistema informático y su base de datos.

### ***1.1.2. Árbol del problema.***

En el Figura 1-4 se representa que el problema central son los registros incorrectos de modos de falla en el software para gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas”, lo cual no permite realizar análisis de fiabilidad apropiados para el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador.

Se identifica que las causas más significativas que afectan al incorrecto llenado de reportes es la deficiencia en capacitación del software “Máximo para Oil&Gas” y Ofimática.

Al tomar en cuenta la reducción de personal de mantenimiento presentada en el año 2015 se puede analizar que no se consideró el verdadero contexto operativo del bloque y se omitió un factor importante como la distancia entre estaciones y la pérdida de tiempo indirecto en viajes para atender un mantenimiento, adicional afecta la escasez de parque automotor en buen estado.

Respecto a los efectos se toma en consideración la subutilización del software de gestión para mantenimiento “Máximo para Oil&Gas” lo cual produce pérdida de información valiosa sin que pueda ser recuperada y utilizada en análisis de modelos de fiabilidad para los equipos que ameriten.

Además el incremento en los costos de mantenimiento por fallos inesperados que produce problemas de cumplimiento del presupuesto anual proyectado, finalmente cierra con un grave efecto de estimación errónea de análisis de fiabilidad y disponibilidad de los equipos que intervienen en el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador afectando de esta manera la estimación correcta de la confiabilidad integral del sistema.

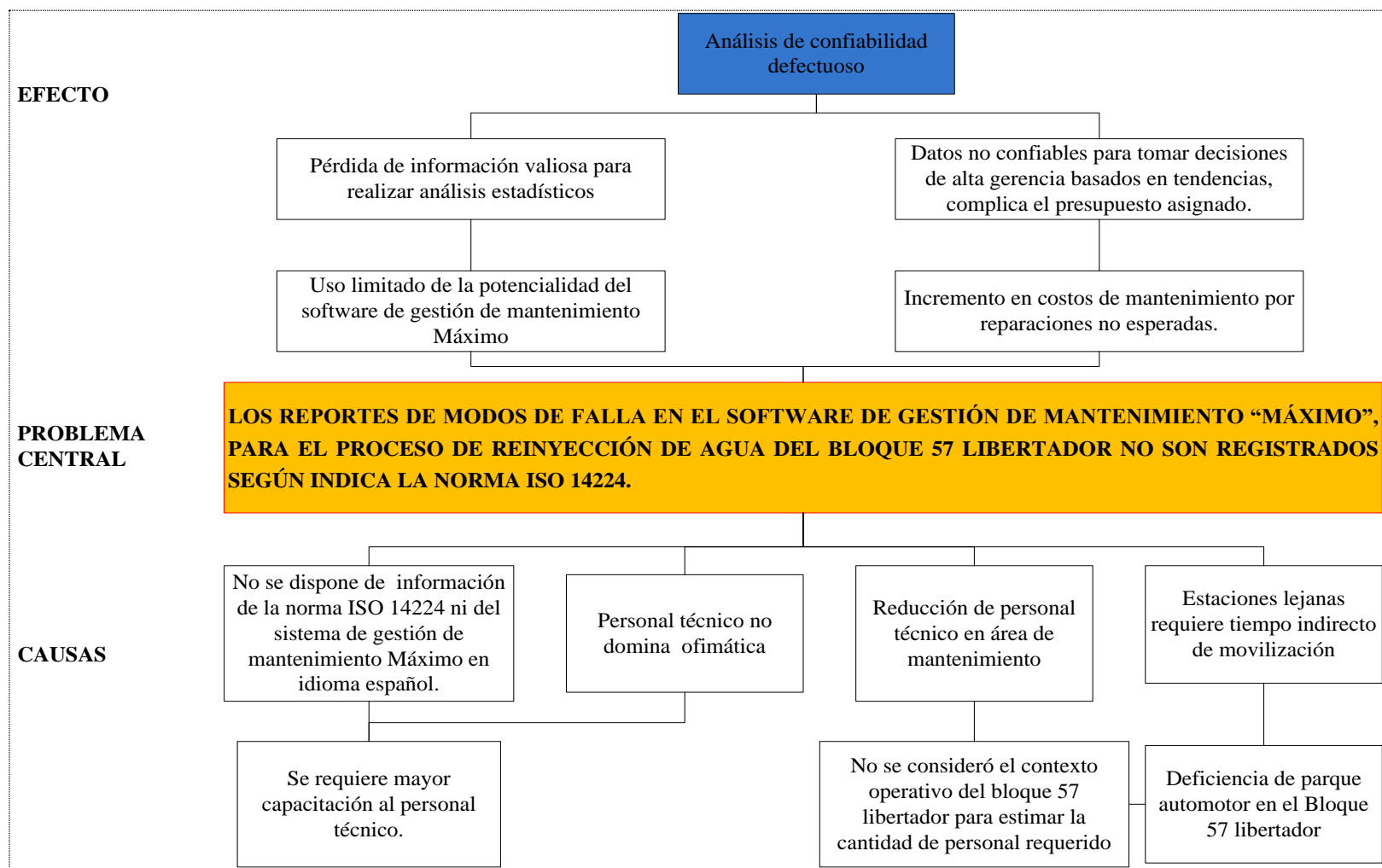


Figura 1–4: Árbol del problema.

Fuente: Arias, José, 2015.

### ***1.1.3. Formulación del problema.***

¿Resultará necesario considerar un modelo de confiabilidad en el cual se pueda reflejar las falencias para reducirlas e identificar las fortalezas para potenciarlas y mantener los equipos con la mayor eficiencia al menor costo posible?

¿Dentro del modelo de confiabilidad se puede estimar factores como: reporte de falla con datos estandarizados, orden de trabajo, plantear con palabras clave, un procedimiento de cálculo para distribución exponencial y Weibull, y análisis de las frecuencias de mantenimiento para los equipos de reinyección de agua en el bloque 57 Libertador?

¿Sera posible garantizar la efectividad del modelo de confiabilidad, si se toma como estrategia incluir un plan de capacitación, con ejemplos prácticos aplicados directamente sobre los técnicos de mantenimiento?

### ***1.1.4. Sistematización del problema.***

Es necesario establecer una estandarización de los reportes y modos de falla de los equipos que intervienen en el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador para evitar ingreso incorrecto de datos al sistema de gestión “Máximo para Oil&Gas” y realizar análisis de fiabilidad adecuados con datos reales.

Es indispensable establecer un análisis de fiabilidad mantenibilidad y disponibilidad de los equipos que intervienen en el sistema de reinyección de agua para mantener identificado las tasas de fallo y el modelo estadístico más apropiado.

Se requiere establecer un procedimiento de cálculo mediante diagrama de bloques de fiabilidad que represente el contexto operativo del Bloque 57 Libertador, y que permita identificar el equipo con menor fiabilidad para poder ejercer acciones que minimicen su impacto.

### ***1.1.5. Objetivos de la investigación.***

#### ***1.1.5.1. Objetivo general.***

Desarrollar un modelo de confiabilidad basado en el contexto operativo del bloque 57 libertador para los equipos que forman parte del sistema de reinyección de agua en la empresa Petroamazonas EP.

#### ***1.1.5.2. Objetivos específicos.***

Estandarizar las fallas funcionales de los equipos en base a la norma ISO 14224:2006 para mejorar la calidad de datos ingresados al sistema.

Identificar los activos con menor fiabilidad que afecten a la disponibilidad del sistema de reinyección de agua.

Proponer un plan de actividades factibles a corto plazo, para mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos, así como los indicadores de gestión (KPI) más adecuados, para el sistema de reinyección de agua.

### ***1.1.6. Justificación de la investigación.***

Uno de los procesos con mayor importancia dentro de la producción de petróleo es eliminar el desecho (agua de formación), siendo su único destino la reinyección en las formaciones adecuadas para este fin, y al no disponer de mayor respaldo volumétrico, (tanques), motivo por el cual incluso se ha llegado a detener el proceso productivo por fallas en el sistema y en ocasiones hasta se requiere rentar equipos para continuar la operación.

Al presentarse una falla funcional en los equipos del sistema de reinyección de agua el mantenimiento es reactivo, se ha contrarrestado en gran parte con la aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo, sin embargo el contexto real de operación hace que en

muchas ocasiones la intervención sea demasiado tarde y se produzcan fallas inesperadas e incluso impactos ambientales, causados por derrame de agua de formación.

Por lo tanto se requiere desarrollar un modelo de confiabilidad basado en el contexto operativo y normativa internacional que permita utilizar la estadística y técnicas avanzadas de predicción y modelación de datos para sustentar decisiones: técnicas, económicas y administrativas con respecto a equipos del sistema de reinyección de agua en el Bloque 57 Libertador.

El mantener registros estandarizados permitirá tener una amplia base de datos de fallos reales y adecuados al contexto operativo del bloque 57 Libertador, con lo cual se irá reduciendo la incertidumbre en cada análisis de fiabilidad y se dispondrá de un registro más acertado del modelo estadístico recomendado para cada equipo que interviene en el sistema de reinyección de agua.

Esta investigación beneficiará directamente a la gestión de mantenimiento y operaciones a nivel técnico, funcional y la administración más eficiente del presupuesto anual asignado para el sistema de reinyección de agua.

#### *1.1.6.1. Justificación práctica.*

Se considera enmarcada dentro de justificación práctica al tratarse de una realidad latente el problema de incertidumbre respecto a la fiabilidad de los equipos que conforman el sistema de reinyección de agua, las soluciones planteadas reducirán los impactos de estos problemas.

La investigación desarrollada estará disponible para beneficio del bloque 57 Libertador y será el inicio para trabajar con modelos de fiabilidad, es posible que luego de las recomendaciones planteadas y la aplicación constante de este modelo, en determinado tiempo las variables cambien y necesite una nueva revisión.

Según Sexto, L. ( 2015), un procedimiento que no mantiene revisiones periódicas es porque está mal hecho o porque no se lo utiliza y es uno de los factores fundamentales dentro de los procesos de mejora continua y auditoria para garantizar la efectividad y utilización de un procedimiento.

### ***1.1.7. Hipótesis.***

#### ***1.1.7.1. Hipótesis de Investigación.***

Mejorar la recolección de datos basado en normas, estándares internacionales y el contexto operativo, posterior a realizar análisis estadísticos y hallazgos encontrados, retroalimenta la información y mejora la estimación de la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad intrínseca de los equipos asociados al sistema de reinyección de agua, reduce la incertidumbre para solicitar el presupuesto de mantenimiento anual, con ello es posible evitar pérdidas de producción y elevados costos de mantenimiento por intervenciones correctivos no programados.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO DE REFERENCIA.**

#### **2.1. Estado del arte.**

Al realizar un análisis de los aspectos relevantes presentado en otras investigaciones sobre un modelo de confiabilidad basado en el contexto operativo para el sistema de reinyección de agua en algún lugar específico, se determina que las investigaciones más importantes están en la base de datos: <http://www.bibliotecasdelecuador.com/cobuec/index.html>.

No se identificó trabajo alguno con el mismo tema, sin embargo existen una gran cantidad de información relacionada y diseminada para otro tipo de procesos.

MÉNDEZ, M. (2008). “Análisis de fiabilidad Utilizando Modelos de Componentes Genéricos y Matrices de Propagación de Fallas”. México, desarrolló un análisis de fiabilidad para compresores de gas asociando los riesgos y las fallas para diseñar un sistema de diagnóstico.

CAÑA, A. (2006). “Análisis RAM de la planta de Inyección de Agua RESOR de PDVS.A”. Venezuela, desarrolló un análisis RAM (fiabilidad, disponibilidad y Mantenibilidad) para una planta de inyección de agua, la diferencia es sin duda el contexto operativo, pues el agua para inyección es limpia frente al agua de formación.

YANCHAPAXI, E. (2011). “Estudio del Sistema de Reinyección de agua de Formación del EPF (Facilidades de Producción EDEN) y Diseño de una Solución que permita optimizar la Presión y el Caudal, así como mejorar el control y operación del sistema”. Ecuador, desarrolló un estudio que permita cambiar el punto de mejor eficiencia de las unidades de bombeo para el sistema de Reinyección de agua del EPF, la diferencia radica en el tipo de bombas que utiliza y la distribución de los pozos de forma centralizada.

BOHÓRQUEZ, O. (2012). “Diseño de un sistema de control para una planta de Pulimiento y Vertimiento de Aguas de Formación”. Colombia, presenta una visión clara de la toxicidad y peligros que tiene el agua de formación y como debería tratarse, presenta el análisis de un sistema de limpieza y monitoreo constante.



ZARATE, M. (2012). “PROYECTO FIN DE CARRERA ANÁLISIS RAMS”. España, presenta el desarrollo de una plantilla para seguir pasos adecuados en el análisis RAM (fiabilidad, disponibilidad y Mantenibilidad), es de gran utilidad puesto que al ser genérico y se puede adaptar según su contexto operativo.

COLLANTES, R. (2010), “Análisis de mejora de la fiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica de alta densidad de carga”. Perú, presenta el análisis de fiabilidad de sistema eléctrico, sirve de referencia por la metodología al tomar en cuenta que uno de los factores principales para la operación de los equipos es disponer de energía eléctrica.

AGUILAR, L. (2013). “Estudio de Fiabilidad en los Equipos de Bombeo electro sumergible, mediante Análisis de fallas en los bloques 14 y 17”. Ecuador. Presenta un estudio de fiabilidad para bombas electro sumergible, con los cuales se puede apreciar que, aunque son equipos de las mismas marcas, su contexto operativo es totalmente diferente, sin embargo servirá de guía para familiarizarse con los modos de falla genéricos.

## **2.2. Marco teórico.**

### **2.2.1. Definiciones y Terminología.**

Uno de los principales problemas que afronta el área de mantenimiento es que ciertos conceptos resultan confusos para ser definidos desde la perspectiva de análisis individual.

Según Eugen Wüster, (1968), terminólogo dice que: “la terminología es patrimonio de los especialistas, de los expertos, que son los que entienden, organizan y estructuran este dominio. Una vez que los especialistas estructuran como ellos crean conveniente su campo de la terminología, los demás usuarios tienen que adaptarse a él” Se trata, por tanto, de un enfoque normativo, que pretende imponer el uso, pretende establecer la univocidad de los términos para así evitar posibles ambigüedades y problemas de comunicación.

La terminología utilizada en mantenimiento (ver anexo B), basado en tres normativas internacionales ISO 14224, (2006), versión en inglés, UNE-EN 13306, (2002) y SAE J1012, (2002) versión en español, estos términos serán de gran ayuda para no tergiversar la información y que la interpretación sea de carácter normativo.

Se determina que los términos de mayor confusión a nivel empresarial generalmente son: falla, fallo, avería y falla funcional aclarando en este documento que se trata únicamente de interpretación de la traducción del idioma inglés a español y concluyendo lo siguiente

El termino **fallo** se obtiene de la traducción del idioma inglés “**Failure**” y se trata de un **evento** es decir algo que puede pasar en cualquier momento.

Después del fallo, el artículo tiene una **avería** o **falla** que se obtiene del termino en inglés “**fault**” y está en un **estado** de indisponibilidad comprobada.

Para efectos de este documento y para obtener la normalización y el lenguaje común se utilizara de preferencia los términos de la norma ISO 14224, 2006 sin excluir o interpretar como incorrecto la utilización de los otros términos de similar definición.

### **2.2.2. Datos del fallo.**

De acuerdo con la norma ISO 14224, (2006), “Industrias de petróleo y gas natural.-Recolección e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos” es importante crear una cultura de estandarización para poder compartir con otras organizaciones del mismo tipo los datos de fallo de equipos, crear verdaderas tendencias y conseguir análisis de fiabilidad cercanos a la realidad.

ISO 14224, (2006), en su introducción recomienda tener una clara comprensión de las características técnicas, funcionamiento, condiciones ambientales, factores externos, posibles fallas, actividades de mantenimiento y recuerda que es necesario disponer de varios años de funcionamiento para que se hayan acumulado suficientes datos y que den como resultado análisis confiables que apoyen las decisiones de la empresa.

En el alcance informa que proporciona una amplia base para la recolección de datos de fiabilidad y mantenimiento en un formato estándar en todas las operaciones e instalaciones dentro del sector petrolero, donde describe términos y definiciones los cuales se constituyen como un “lenguaje de fiabilidad” que pueda ser útil para comunicar la experiencia operacional.

Los modos de falla que ISO 14224, (2006), presenta en su parte normativa se puede utilizar como un “diccionario de sinónimos de fiabilidad” tanto para aplicaciones cualitativas como cuantitativas.

Se recomienda una cantidad mínima de datos centrado en dos aspectos principales, **tipos de datos** para uso en diversas metodologías y **formato de datos estandarizado** para facilitar el intercambio entre plantas.

ISO 14224, (2006), no proporciona un detalle de los métodos de análisis estadístico de datos pero recomienda algunos parámetros de cálculo básico, tampoco presenta un análisis de costos porque asegura que para ello está el sistema informático en donde se registran y analizan.

Considera que la estandarización de datos es aplicable en cualquier etapa del ciclo de vida de un activo incluyendo la instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y modificación.

ISO 14224, (2006), aclara que el objetivo principal de esta norma es hacer posible el intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento en un formato común dentro de la empresa y fuera de ella.

Para el caso de este documento se espera que el modelo de confiabilidad planteado sirva de base para otros procesos y bloques en Petroamazonas EP

### ***2.2.3. Tipo de datos.***

Según Galván et al., (2014), en estadística existen muchas clasificaciones del tipo de variables y muestras estudiadas para los datos obtenidos, estas pueden ser cuantitativas o cualitativas, ordinales o cardinales, continuas o discretas, entre otras, sin embargo; su explicación centra su atención en la clasificación de datos censurados y completos.

#### ***2.2.3.1. Datos censurados.***

Galván et al., (2014), explica que la censura estadística consiste en el conocimiento parcial del valor de una variable observada, además explica que normalmente la censura se utiliza cuando no es posible medir con precisión un evento concreto, por ejemplo el tiempo hasta el fallo de un

equipo del cual no se conoce con exactitud cuándo fue que fallo la última vez o cuando fallará nuevamente.

#### 2.2.3.2. Datos Completos.

Galván et al., (2014), indica que los datos completos son aquellos de los cuales se conoce toda la información al finalizar el análisis, por ejemplo determinar un grupo de bombas de las mismas características, determinar el tiempo que inicio su operación o cuando fallaron por primera vez y el ensayo solo puede terminar cuando se disponga del tiempo en que fallo la última bomba por segunda ocasión si fue reparada o por primera vez si fue nueva.

#### 2.2.4. Población y muestra.

Armau, (1980), citado por Hurtado (2000), citado por Caña (2006) definen a la población como el conjunto de elementos, seres o eventos concordantes entre si y referentes a una serie de características de los cuales se requiere obtener alguna información.

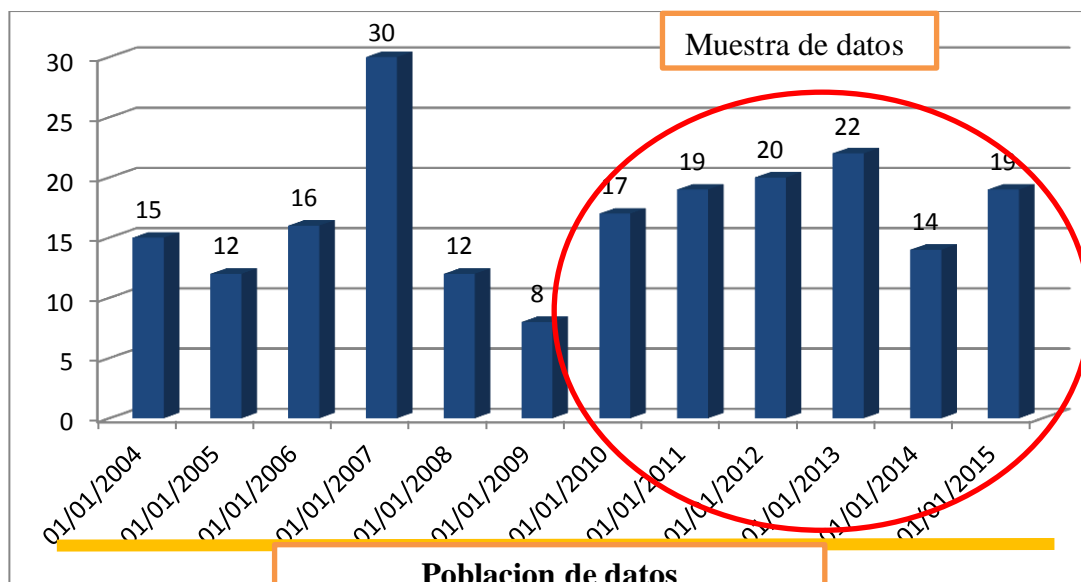


Figura 2–1: Diferencia entre población y muestra.

Fuente: Galván et al. . (2014), *Análisis de datos*, (p.18)

Como la población puede ser muy amplia y no se podría definir con claridad los alcances entonces se requiere de una muestra la cual se define como una parte de la población sobre la cual se puede obtener la información necesaria (ver Figura 2-1).

#### ***2.2.5. Modelado de datos.***

Galván et al., (2014), manifiesta que en muchas ocasiones, los datos obtenidos, suelen mostrar patrones, modelos o tendencias, la idea del análisis de datos es encontrar estos patrones que a menudo son leyes matemáticas, se puede lograr partiendo de una cierta población y en función de los valores de muestra obtenidos de algún componente, dentro del ámbito de la ingeniería de fiabilidad estos modelos tienen carácter probabilista y permiten caracterizar la distribución de la variable aleatoria de interés como tiempos hasta el fallo, tiempos de reparación, etc.

#### ***2.2.6. Estimación paramétrica y no paramétrica.***

Galván et al., (2014), explica que la estimación o inferencia paramétrica se basa en la suposición de un comportamiento general para una muestra de datos, es decir, se conoce de forma aproximada o se intuye, el comportamiento de la función de distribución de la muestra estudiada, por ello se aplica un método que permita la aproximación de los distintos valores de ésta a una curva que pertenezca a la familia de las funciones de distribución supuesta (p.51)

Galván et al. (2014), Aclara que la estimación no paramétrica se emplea cuando se desconoce la función de distribución que representa la muestra por lo que interesa obtener punto a punto la misma. De esta forma se puede estudiar el comportamiento del conjunto de datos obtenido. Es habitual que tras la obtención de estas estimaciones se proceda a realizar una parametrización del conjunto de datos con el fin de obtener el modelo que representa dicha muestra (p.57)

#### ***2.2.7. Estimador Kaplan-Meiers.***

Galván et al. (2014), menciona que este estimador presenta la ventaja de poderse usar tanto para un conjunto de datos completos como censurados, ya que tiene en cuenta la posibilidad de la

existencia de datos censurados de manera implícita, para determinar cada dato de probabilidad de fallo se sigue la siguiente secuencia de cálculos apoyándose en la función de supervivencia:

- Se ordenan los datos de menor a mayor.
- Se estipula en una columna aparte los datos que presentan censura y los que no, (F[fallo], X[censura]).
- Asociar a cada dato, el número.
- Estimar el valor de la función de supervivencia  $S_1$  mediante:

**Ecuación 2–1**

$$S_1 = \frac{(S_1 - r_1)}{S_1}$$

- Estimar los sucesivos valores de la función de supervivencia mediante:

**Ecuación 2–2**

$$S_i = S_{i-1} * \frac{(S_i - r_i)}{S_i}$$

Estimar el valor de la función de distribución  $F_i$  mediante  $1 - S_i$  en caso de necesitarse la misma.

Dónde:

$s_i$ : Expresa el número de elementos supervivientes justo antes del fallo.

$r_i$ : El número de fallos que ocurren en ese instante.

$S_1$ : Valor de supervivencia.

$F_i$ : Función de distribución.

### **2.2.8. Regresión lineal simple.**

Meneses (2013), indica que los modelos de regresión simple suponen que la relación entre variables es lineal, es decir considera que la función de regresión es de la forma  $f(X)=a + b \cdot X$  obteniéndose el siguiente modelo de regresión fácilmente interpretable.

**Ecuación 2–3**

$$Y = a + bx + \epsilon$$

Los coeficientes  $a$  y  $b$  son coeficientes desconocidos y serán estimados a partir de los datos que describen como es la relación entre  $X$  e  $Y$ .

**b:** Pendiente de la recta de regresión, indica el aumento medio de  $Y$  cuando la variable  $X$  aumenta en una unidad, nótese que  $b = 0 \Rightarrow$  no hay relación entre las variables  $X$  e  $Y$ .

**a:** La constante  $a$  coincide con el valor medio de  $Y$  cuando  $X$  toma el valor cero, este coeficiente no siempre tiene una interpretación lógica en el problema.

**$\epsilon$ :** corresponde a la variable de error.

Los coeficientes  $a$  y  $b$  del modelo de regresión son desconocidos y por lo tanto será necesario obtener su estimación a partir de una muestra de  $n$  datos apareados  $(X_1; Y_1), \dots, (X_n; Y_n)$  de las variables  $(X, Y)$ .

#### 2.2.8.1. Bondad de ajuste o coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Meneses (2013), indica que los modelos de regresión lineal simple pretenden explicar la respuesta media de  $Y$  a través de los valores de otra covariable o variable explicativa  $X$  y que solo tiene sentido hacer dicho estudio si realmente  $X$  contiene información sobre  $Y$ , en otro caso el modelo de regresión no será útil (p.40).

Meneses (2013), aclara que la bondad de ajuste de un modelo de regresión puede ser entendida como la cantidad de variabilidad de  $Y$  que es capaz de explicar  $X$  a través de dicho modelo, para ello se comparará, la **varianza total** de la respuesta y la varianza residual

En particular, para determinar la bondad de ajuste del modelo se utiliza el coeficiente de determinación  $R^2$  que se define como la proporción de variabilidad explicada por dicho modelo

#### Ecuación 2–4

$$R^2 = \frac{VT - VR}{VT}$$

Dónde:

$R^2$  es el coeficiente de determinación.

$VT$  es la varianza total.

$VR$  es la varianza residual.

### 2.2.8.2. Propiedades de $R^2$ :

- Evidentemente,  $R^2$  toma valores entre 0 e 1.
- Si  $R^2$  está próxima a 1 se tiene un buen ajuste.
- Por el contrario, si  $R^2$  está próximo a 0 se tendrá un pésimo ajuste.

### 2.2.9. Fiabilidad basada en el modelo exponencial.

Galván et al., (2014), indica que el modelo de datos exponencial se ve representado como una sencilla curva decreciente, en base exponencial, se caracteriza de forma general por estar definida por dos parámetros y por tener una única forma cualesquiera que sean sus parámetros en la tabla 2-1 se resumen las fórmulas utilizadas para esta función.

Tabla 2–1: Funciones del modelo exponencial de dos parámetros.

Modelo exponencial de dos parámetros				
Función de densidad	Función de distribución	Función de supervivencia	Función de riesgo	Valor medio
$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-\gamma)}$	$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)}$	$\lambda(t)=\lambda$	$\bar{T} = \gamma + \frac{1}{\lambda}$

Fuente: (Galván n, 2014, p.27)

Galván et al., (2014), explica que una característica interesante de esta función es la llamada “falta de memoria”, esta propiedad se verifica cuando la función de riesgo es constante y en consecuencia la probabilidad de ocurrencia del evento es independiente del resto (p.26)

Cuando el valor de  $\gamma$  (gamma) es igual a cero se obtiene la distribución exponencial de 1(un) parámetro cuyas ecuaciones se reducen a lo presentado en la tabla 2-2.

Galván et al., (2014), indica que en el modelo exponencial el parámetro  $\lambda$  (lambda) determina el valor inicial de ordenadas y representa la tasa de variación (crecimiento o disminución) asociada a las funciones de distribución, densidad y supervivencia, por otra parte el parámetro  $\gamma$  (gamma) es un factor de localización que desplaza la localización sobre el eje de las ordenadas por lo cual es despreciable (p.27).



Tabla 2–2: Funciones del modelo exponencial de un parámetro.

Modelo exponencial de un parámetro				
Función de densidad	Función de distribución	Función de supervivencia	Función de riesgo	Valor medio
$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t)}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t)}$	$R(t) = e^{-\lambda(t)}$	$\lambda(t) = \lambda$	$\bar{T} = \frac{1}{\lambda}$

Fuente: (Galván n, 2014, p.27)

#### 2.2.9.1. Linealización de la distribución exponencial.

Galván et al., (2014), indica que la expresión linealizada de una distribución exponencial se usa de forma frecuente para ajustar unos datos de muestra al modelo, o sea para obtener los valores de  $\lambda$  (lambda) y  $\gamma$  (gamma) más apropiados según los datos disponibles (p.28).

Se recurre a una transformación de los datos a partir de la función logaritmo neperiano (ln).

#### Ecuación 2–5

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-\gamma)}$$

$$\ln(1 - F(t)) = \ln(e^{-\lambda(t-\gamma)}) = -\lambda(t - \gamma)$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\lambda t + \lambda \gamma$$

Galván et al. (2014), asegura que si los datos transformados pueden ajustarse razonablemente a una recta entonces no se puede refutar la hipótesis que el modelo que los representa es una función exponencial (p.28).

#### Ecuación 2–6

$$y = mx + b$$

$$x = t$$

$$y = \ln(1 - F(t))$$

$$m = -\lambda$$

$$b = \lambda \gamma$$

$$\gamma = b/\lambda$$

Bajo esta transformación se puede estimar los parámetros.

Como se analiza el objetivo para la distribución exponencial de supervivencia (fiabilidad) es encontrar el valor de  $\lambda$  (lambda) para poder reemplazar en la mayoría de funciones.

ISO 14224 (2006), explica en pocas palabras que si asumimos que el valor de  $\gamma$  es igual a 0 (cero) y nuestros datos son lo suficientemente amplios y con una tendencia central aceptable podemos aplicar de forma rápida el concepto de que “la tasa de fallo es una frecuencia media,  $\lambda$ , de fallo (es decir, un número de fallos por unidad de tiempo).

Es fácil calcular un estimador,  $\hat{\lambda}$  de esta frecuencia a partir de datos históricos de fiabilidad y mantenimiento dividiendo el número de fallos observados,  $n$ , del elemento considerado por su tiempo de trabajo acumulado (tiempo de funcionamiento) durante el mismo período de tiempo” (p.138).

#### **Ecuación 2–7**

$$\lambda = \frac{\eta}{\sum t_{TFi}}$$

Dónde:

$n$  es el número de fallos observados;

$t_{TFi}$  es el  $i$ th tiempo para fallar (es decir  $i$ th es la duración de funcionamiento observada desde el campo).

NOTA 1  $\lambda$  es una función del tiempo  $t$  y se acerca continuamente a  $1 / \text{tMTF}$ .

Advierte que para usar este sencillo método de cálculo se debe tener varios datos confiables y que han sido recolectados durante un largo periodo de tiempo y que hayan mantenido una tendencia central y el modelo exponencial haya sido comprobado.

#### **2.2.10. Fiabilidad basada en el modelo Weibull.**

Galván et al., (2014), propone que el modelo de datos Weibull es una función mucho más flexible que la exponencial, adaptándose a diversas muestras de datos gracias a la inclusión del parámetro de forma  $\beta$ , de hecho la curva exponencial es una particularización de este modelo cuando  $\beta$  adopta un valor de 1(unos).

La función de densidad Weibull está definida por  $\beta$ ,  $\eta$  y  $\gamma$  por lo que se conoce como función de densidad Weibull de tres parámetros.

El parámetro  $\beta$  es el parámetro de forma,  $\eta$  representa el parámetro de escala y  $\gamma$  es el parámetro de localización cada uno afecta de forma distinta dependiendo de los valores que adopten.

La esperanza (valor medio) de la distribución Weibull depende de la función gamma (  $\bar{T}$  ) tal como se presenta en la tabla 2-3.

Tabla 2–3: Funciones del modelo Weibull de dos parámetros.

Modelo Weibull de dos parámetros				
Función de densidad	Función de distribución	Función de supervivencia	Función de riesgo	Valor medio
$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\bar{T} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$

Fuente: (Galván n, 2014, p.43)

Galván et al., (2014), propone que los valores de la función gamma ( $\Gamma$ ) necesarios para obtener el valor medio, se pueden obtener con relativa facilidad utilizando software de cálculo como Microsoft Excel o similares para este fin como (estadístico R, Matlab, Weibull ++, entre otros), (p.31).

Galván et al., (2014), explica que en múltiples ocasiones se verifica que el parámetro de desplazamiento  $\gamma$  tiende a valores cercanos a cero y en ocasiones las muestras de datos caracterizados mediante Weibull de 3 parámetros puede aproximarse utilizando solo los parámetros de forma  $\beta$  y escala  $\eta$ , por lo tanto se asimila que  $\gamma=0$  (cero).

Galván et al., (2014), determina que se obtiene la **clásica función de Weibull de dos parámetros**, al no tomar en cuenta el parámetro de localización  $\gamma$ , con lo cual no existe pérdida significativa en el resultado, pero por otro lado la expresión se cambia a tener un tratamiento numérico más simple.

#### 2.2.10.1. Linealización de la distribución Weibull.

Galván et al. (2014), indica que el cálculo de los valores de los parámetros de forma  $\beta$  y escala  $\eta$ , por algún método buscara representar la curva como una recta.

Se recurre a la transformación de los datos a partir de la función logaritmo neperiano (ln).

### Ecuación 2-8

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln(1 - F(t)) = \ln\left(e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}\right) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln(1 - F(t)) = \ln\left(\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) = -\beta \ln(\eta) + \beta \ln(t)$$

Galván et al., (2014), concluye que si los dejamos notificando como una recta, se haría un cambio de variable, dejando también una escala logarítmica en el eje de las abscisas o X, (p.34).

### Ecuación 2-9

$$y = mx + b$$

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right)$$

$$x = \ln(t)$$

$$m = \beta$$

$$b = -\beta \ln(\eta)$$

$$e^{b/\beta} = e^{-\ln(\eta)}$$

$$\eta = e^{b/\beta}$$

Bajo esta transformación se puede obtener los parámetros utilizando el software Microsoft Excel donde es posible realizar la linealización y obtención de la ecuación de la recta e incluso el coeficiente de determinación  $R^2$  para los valores calculados, (ver figura 2-2).

Para obtener de forma adecuada los parámetros necesarios y verificar el coeficiente de determinación, se requiere seleccionar los datos X, Y de las columnas y seleccionar insertar figura de dispersión, seleccionar los puntos donde al dar click derecho y seleccionar agregar línea de tendencia, se puede seleccionar el modelo lineal, presentar ecuación y el valor R cuadrado (ver figura 2-2).

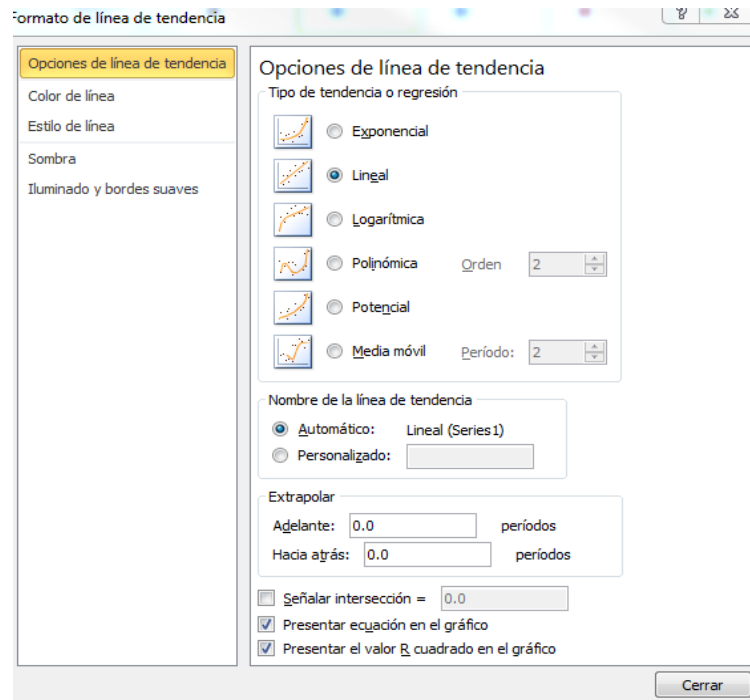


Figura 2–2: Linealización mediante Microsoft Excel.

*Fuente: Arias José, 2015, captura de pantalla Microsoft Excel.*

ISO 14224 (2006), recomienda el análisis Weibull para equipos que tienen 5 (cinco) o más fallos de modo común, y clasifica los fallos en 4 (cuatro) categorías:

- a. Fallos de mortalidad infantil (parámetros de forma Weibull  $\beta < 1$ ) son generalmente inducidos por las circunstancias externas y son normalmente debido a una mala instalación, fallos electrónicos de estado sólido, defectos de fabricación, ensamblado, o los procedimientos de arranque incorrectos, (ISO 14224, 2006, p.135).
- b. Fallos aleatorios ( $\beta = 1$ ) más a menudo el resultado de errores de mantenimiento, errores humanos, fallos por objetos extraños o errores de cálculo en el análisis de Weibull (por ejemplo, combinación de datos de diferentes modos de fallo, la combinación de los modos de fallo comunes de diferentes tipos de equipos, etc.). Fallos aleatorios son mejor tratados por la mejora de los programas de mantenimiento predictivo (vigilancia más rigurosa de la condición), (ISO 14224, 2006, p.135).
- c. Fallos desgaste antes de tiempo ( $1,0 < \beta < 4,0$ ) puede ocurrir en la vida de diseño normal del equipo y lo más a menudo incluyen la fatiga de bajo ciclo, la mayoría de las fallas de rodamientos, la corrosión y la erosión, el mantenimiento preventivo que resulta en la reparación o sustitución de los componentes críticos puede ser rentable, el plazo para la revisión se lee en la gráfica Weibull la vida más apropiada  $\beta$ .

d. Fallos de desgaste excepto vejez ( $\beta \geq 4,0$ ) más a menudo se producen fuera de la vida de diseño normal, la pendiente más pronunciada,  $\beta$ , menor será la variación de los tiempos para el fallo y más predecibles los resultados, modos de falla típicos con desgaste por vejez incluyen corrosión, estrés, erosión, propiedades de materiales, etc.,

El mantenimiento preventivo para reemplazar las piezas que producen fallas significativas puede ser rentable, el plazo para la revisión se lee en la gráfica Weibull la vida más apropiada  $\beta$ , (ISO 14224, 2006, p.135).

### ***2.2.11. Diagrama de bloques de fiabilidad (RBD).***

Martínez, (2014) propone que “la fiabilidad de un sistema depende tanto de la fiabilidad individual de cada una de sus componentes, como del modo lógico en que estén conectadas y que se supone que el estado de funcionamiento o fallo de las componentes, determina el estado de funcionamiento o fallo del sistema, además explica que se debe completar con un diagrama de bloques (RBD), que es una representación gráfica de los componentes o subsistemas de un sistema y de cómo se relacionan desde el punto de vista de la fiabilidad (p.03).

#### ***2.2.11.1. Fiabilidad sistemas en serie***

Sexto, (2015), explica que un sistema serie es aquel que funciona si y solo si funcionan todos y cada uno de los componentes que lo forman, el fallo en uno de ellos detiene el proceso totalmente, además la fiabilidad de sistema siempre será más baja del menor valor de fiabilidad entre los componentes (p.88)

La fiabilidad total del sistema resulta de la multiplicación de todas sus fiabilidades individuales.

La podemos resumir en la ecuación 2-10

#### **Ecuación 2–10**

$$R_S = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n$$

Dónde:

RS= Fiabilidad del sistema.

R1,..Rn= fiabilidad de todos los componentes que intervienen en el sistema distribuidos funcionalmente en serie, es decir que la falla de uno solo provocará la falla del sistema.

#### 2.2.11.2. *Fiabilidad sistemas en paralelo*

Galván, Sosa, Carrión, & Martínez, (2014), un sistema paralelo es aquel que funciona mientras funcione al menos una de sus componentes, en un sistema paralelo el fallo de una componente permite que el resto de las componentes funcionen, (p.48).

La fiabilidad de un sistema paralelo será, por lo tanto, la probabilidad de que funcione alguna de las componentes.

La fiabilidad de un sistema paralelo siempre es mayor que la fiabilidad de la componente con mayor fiabilidad, por lo tanto el componente de mayor influencia en la fiabilidad de un sistema paralelo será la componente de mayor fiabilidad.

La podemos resumir en la ecuación 2-11:

#### **Ecuación 2–11**

$$RS= 1-(1-R1)*(1-R2)*...(1-Rn)$$

Dónde:

RS= Fiabilidad del sistema.

R1,..Rn= fiabilidad de todos los componentes que intervienen en el sistema.

#### 2.2.11.3. *Sistemas compuestos*

Hay muchas situaciones en las cuales un sistema está compuesto por una combinación de subsistemas serie o paralelo, en estos casos se resuelve el sistema desde los más básicos hasta ir reduciendo los diagramas a la unidad aplicando los criterios descritos.

### 2.2.12. Curva de la bañera y tasa de fallos.

ISO 14224 (2006) resume que en general, la tasa de riesgo,  $\lambda(t)$ , de la vida del elemento a menudo se asume que reflejan tres períodos de tiempo: fallas infantiles (tempranas), la vida útil y fallos por causa de desgaste durante el período de fallas temprana, el  $\lambda(t)$  esta normalmente disminuyendo, durante la vida útil que es más o menos constante y durante el período de desgaste está aumentando, es decir, la curva,  $\lambda(t)$ , tiene la llamada forma curva de la bañera presentada en la figura 2-3.

Suponiendo que la tasa de riesgo es constante, este también es un estimador de la tasa de riesgo constante, si se asume una tasa de riesgo constante donde las fallas en periodo de desgaste están presentes en los componentes o piezas de repuesto, la fiabilidad es subestimada por bajo tiempo de operación y sobreestimado por hora de operación.

Aclara que con respecto al tiempo hasta el primer fallo,  $t_{TFF}$ , la estimación de tasa de riesgo constante es totalmente engañosa.

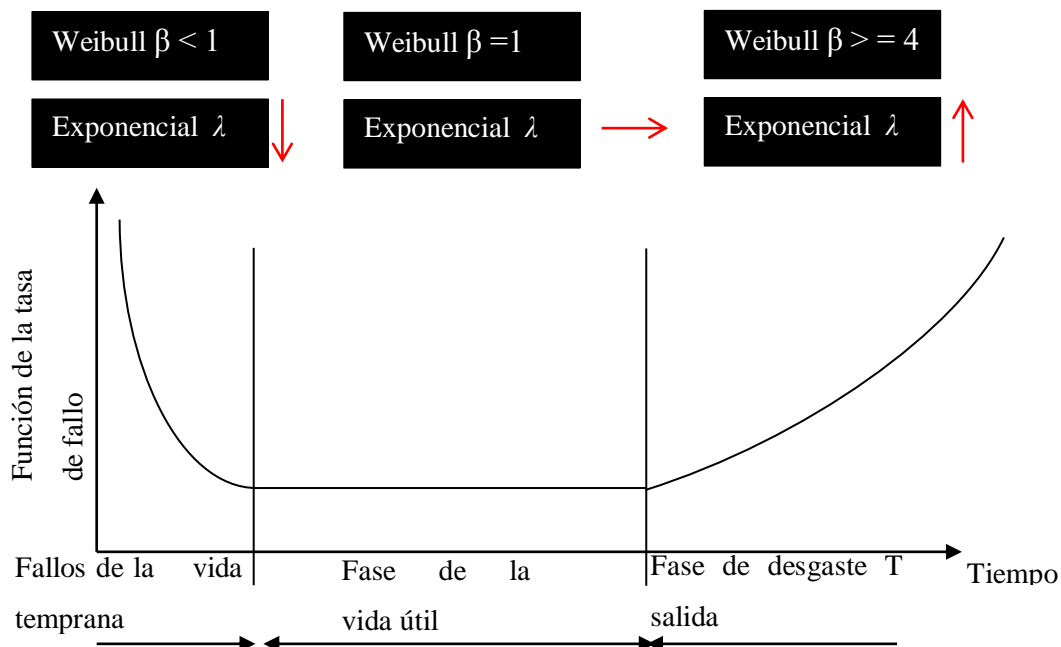


Figura 2-3: Relación curva de la bañera, exponencial-Weibull.

Fuente: (ISO 14224, 2006, p.139, realizado por: Arias, José, 2015)

No obstante, un análisis estadístico más sofisticado se puede realizar para determinar si la tasa de riesgo es decreciente, constante o creciente y para evaluar los parámetros con otro modelo de



fiabilidad, tales como Weibull, es necesario tener en consideración las distintas duraciones de los tiempos hasta el fallo observados para cada equipo tTFiS, ISO 14224 (2006, p.140).

### ***2.2.13. Confiabilidad***

Según EN 60300-1:1993 la define como el conjunto de propiedades que describen las características de disponibilidad y los factores que la condicionan como son: Fiabilidad, Mantenibilidad y logística de Mantenimiento, es decir la confiabilidad encierra en conjunto todas las acciones que tienen influencia sobre el activo para que este pueda ser confiable.

Sexto L., (2015) explica que la confiabilidad integral de un activo o sistema depende de muchos factores, entre los más importantes propone a la confiabilidad del contexto operativo, la confiabilidad humana, la confiabilidad intrínseca o determinada por el diseño y la de confiabilidad de gestión o logística en general, (p.10)

### ***2.2.14. Disponibilidad $A(t)$***

ISO 14224, (2006) explica que se debe tener muy en cuenta que la definición de disponibilidad dada en la norma IEC 60050-191: 1990, 3.1.1, puede resultar engañoso, ya que puede llevar a pensar que la "disponibilidad" y "fiabilidad" son los mismos conceptos, pero aclara que esto no puede ser cierto porque el significado de "más un intervalo de tiempo dado" no es en absoluto lo mismo para los conceptos de "disponibilidad" y "fiabilidad" (p.135).

ISO 14224, (2006), explica que la disponibilidad se trata de un "Elemento que trabaja en un momento dado (no importa lo que ha sucedido antes)" (p.135)

ISO 14224, (2006) también aclara que la fiabilidad se trata de un "Elemento que trabaja continuamente durante todo un período de tiempo" (p.135)

#### 2.2.14.1. Matemáticas de la disponibilidad.

ISO 14224, (2006), propone dos tipos de disponibilidad: la operacional que considera tiempo real de operación sobre tiempo esperado de operación y la intrínseca donde considera los tiempos medios hasta la falla y los tiempos medios para reparar. (p.135-p.137)

Disponibilidad operacional,  $A_o$ , está dada por la ecuación 2-12:

#### Ecuación 2-12

$$A_o = \frac{t_{MU}}{t_{MU} + t_{MD}}$$

Dónde

$t_{MU}$  es la media del tiempo operativo, que se calcula utilizando el tiempo operativo real observado en campo.

$t_{MD}$  es la media el tiempo de inactividad, que está utilizando el tiempo de inactividad real observado en campo;

Disponibilidad intrínseca,  $A_i$ , está dada por la ecuación 2-13:

#### Ecuación 2-13

$$A_i = \frac{t_{MTF}}{t_{MTF} + t_{MTR}}$$

Dónde

$t_{MTR}$  es el tiempo medio para reparar, que se calcula mediante el uso de los tiempos de reparación reales observados en campo;

$t_{MTF}$  es el tiempo medio hasta el fallo, que se calcula mediante el uso de los tiempos reales hasta el fallo observado en campo.

El tiempo medio entre fallos, MTEF (TMBF), está dada por la ecuación 2-14.

#### Ecuación 2-14

$$t_{MBF} = t_{MTF} + t_{MTR}$$

Donde  $t_{MTF}$  y  $t_{MTR}$  son como se definen anteriormente.

#### 2.2.14.2. *Tiempo medio para fallar (TMTF).*

El tiempo medio para fallar,  $t_{MTF}$ , está vinculada a la tasa de fallo,  $\lambda$ , del elemento o sistema tratado por la ecuación 2-15.

**Ecuación 2–15**

$$t_{MTF} = \frac{1}{\lambda}$$

Donde  $\lambda$  es la tasa de fallo.

Sexto L., (2015, p.8) explica que la “Tasa de Fallos, es una función que describe el número de fallos de un sistema o componente que pueden ocurrir en un cierto tiempo”

#### 2.2.14.3. *Número de fallas*

Se puede obtener de la ecuación 2-16 tomando en cuenta que la suma de tiempos hasta el fallo coincide con el tiempo de estimación proyectado.

**Ecuación 2–16**

$$\hat{\lambda} = n / \sum t_{TFi}$$

$$n = \sum t_{TFi} / t_{MTF} =$$

### **2.2.15. Fiabilidad $R(t)$**

La norma UNE 21-302-92/191 la define como actitud de un elemento para realizar una función requerida, en condiciones dadas durante un intervalo de tiempo dado, concepto que coincide con ISO 14224, (2006, p.7) y EN13306, (2006, p.10)

Para obtener esta fiabilidad se utiliza alguna distribución de probabilidad como exponencial, Weibull, etc., de igual forma se obtiene la fiabilidad del sistema aplicando los conceptos de diagramas de bloques de fiabilidad (RBD).

### **2.2.16. Mantenibilidad $M(t)$ .**

Capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos, (ISO 14224, 2006, p.06), (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

#### **2.2.16.1. Tasa de reparación**

ISO 14224, (2006) define a la tasa de reparación,  $\mu$ , como un parámetro de fiabilidad que permite la evaluación de la probabilidad de que el artículo sea reparado dentro de un cierto retraso después de haber fallado (esta es la versión probabilística del "mantenibilidad" del elemento) (p.135)

Este parámetro tiene un papel para la  $t_{TR}$  (tiempo para reparar) análoga a la de la tasa de fallo para el  $t_{TF}$  (tiempo hasta el fallo).

La estimación está dada por la ecuación 2-17.

**Ecuación 2-17**

$$\mu = \frac{n}{\sum t_{TRi}} = \frac{1}{t_{MTR}}$$

Este parámetro puede ser utilizado para evaluar la capacidad de mantenimiento del elemento usando una ley exponencial como se da en la ecuación 2-18

#### **Ecuación 2-18**

$$M(t) = 1 - \exp(-\mu * t)$$

#### **2.2.17. Formato de datos estandarizado.**

La recolección de datos se puede realizar ya sea dentro de la empresa utilizando fuentes internas o como una tarea realizada por las empresas o personal más especializados, como los datos son, por naturaleza, "históricos". ISO 14224 (2006).

Es evidente que llevará algún tiempo antes de que se acumulen suficientes datos para obtener resultados válidos basadas sólo en estadística, además el análisis de costo-beneficio para la recopilación de datos puede tomar aún más tiempo para llegar a ser evidente, pero el seguimiento anual del rendimiento resultara de gran utilidad.

La recolección de datos puede requerir habilidades de varias categorías, fiabilidad, estadísticas, mantenimiento, operación y recolección de datos, el personal clave deberá estar familiarizado, en particular, con el concepto de recolección de datos y el software específico que utiliza para registrarlos, de hecho debe conocer los aspectos técnicos de explotación y mantenimiento de los equipos, ISO 14224, (2006).

La capacitación adecuada del personal es clave a fin de obtener datos de alta calidad, se debe dividir al personal que comprueba la calidad de datos de los que hacen la recolección, finalmente la norma exige que el personal tenga el conocimiento previo de esta normativa para que el trabajo sea eficiente.

ISO 14224, (2006), recomienda utilizar algún sistema para hacer frente a las desviaciones encontradas en el proceso de recopilación de datos, tales como definiciones ambiguas, falta de reglas de interpretación, códigos inadecuados, etc.

Una vez identificados los problemas deben ser resueltos lo más pronto posible, sin olvidarse de la retroalimentación, evaluando las lecciones de calidad aprendidas, y es entonces cuando el personal observara los cambios positivos y destinara mayor apoyo a la recolección de datos.

#### **2.2.18. Descripción de límites.**

El realizar una descripción clara de límite para todo tipo de equipo o sistema, la recolección, fusión y el análisis de datos de fiabilidad y mantenimiento en los diferentes procesos de las industrias, plantas o fuentes, facilita la comunicación entre los operadores y fabricantes de equipos caso contrario, la fusión y el análisis se basan en datos incompatibles, ISO 14224, (2006)

En la figura 2-4, presenta un ejemplo aplicado a bombas tanto de servicios generales y de incendio explica que válvulas de entrada y salida, filtro de aspiración no están dentro de los límites, por otra parte, no se incluyen los controladores de la bomba junto con sus sistemas auxiliares, las unidades de control se registran como existencias separadas (motor eléctrico, turbina de gas o motores de combustión).

ISO 14224 (2006), aclara además que es importante que las fallas en el conductor, si llegan a suceder, se registren como parte de las unidades de control, el número en el inventario de la bomba da una referencia de inventario al controlador apropiado.

Se debe prestar atención a la ubicación de los elementos, instrumentación remota, control y monitoreo los cuales suelen ser incluidos dentro de la subunidad "control y monitoreo", mientras que la instrumentación individual (disparador, alarma, control) normalmente se incluye dentro de la subunidad adecuada, por ejemplo, sistema de lubricación o enfriamiento.

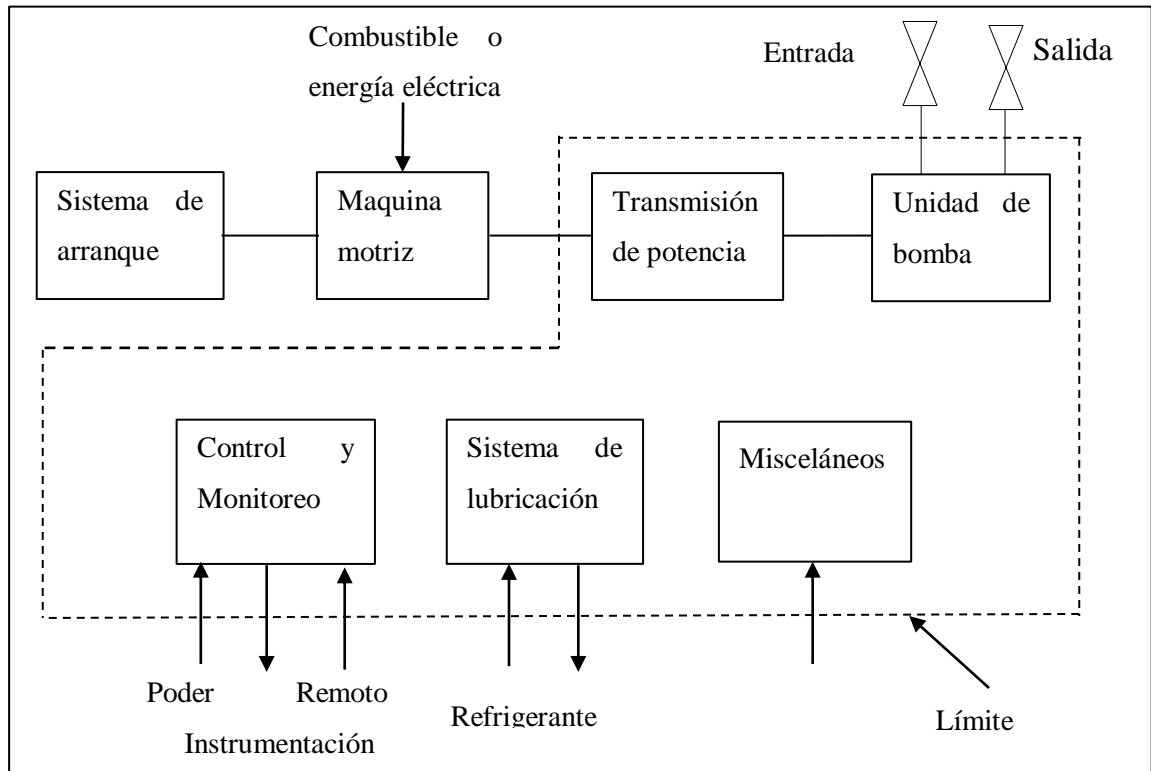


Figura 2-4: Ejemplo de diagrama de límite (bombas).

*Fuente: (ISO 14224, 2006, p.17).*

### 2.2.19. Taxonomía.

ISO 14224 (2006) define a la taxonomía como una clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios de los elementos (ubicación, uso, subdivisión equipo, etc.). Una clasificación de los datos pertinentes que deben recogerse de acuerdo con esta norma internacional está representada por una jerarquía tal como se muestra en la Figura 2-5, los ejemplos de cada segmento se proporcionan en el anexo C.

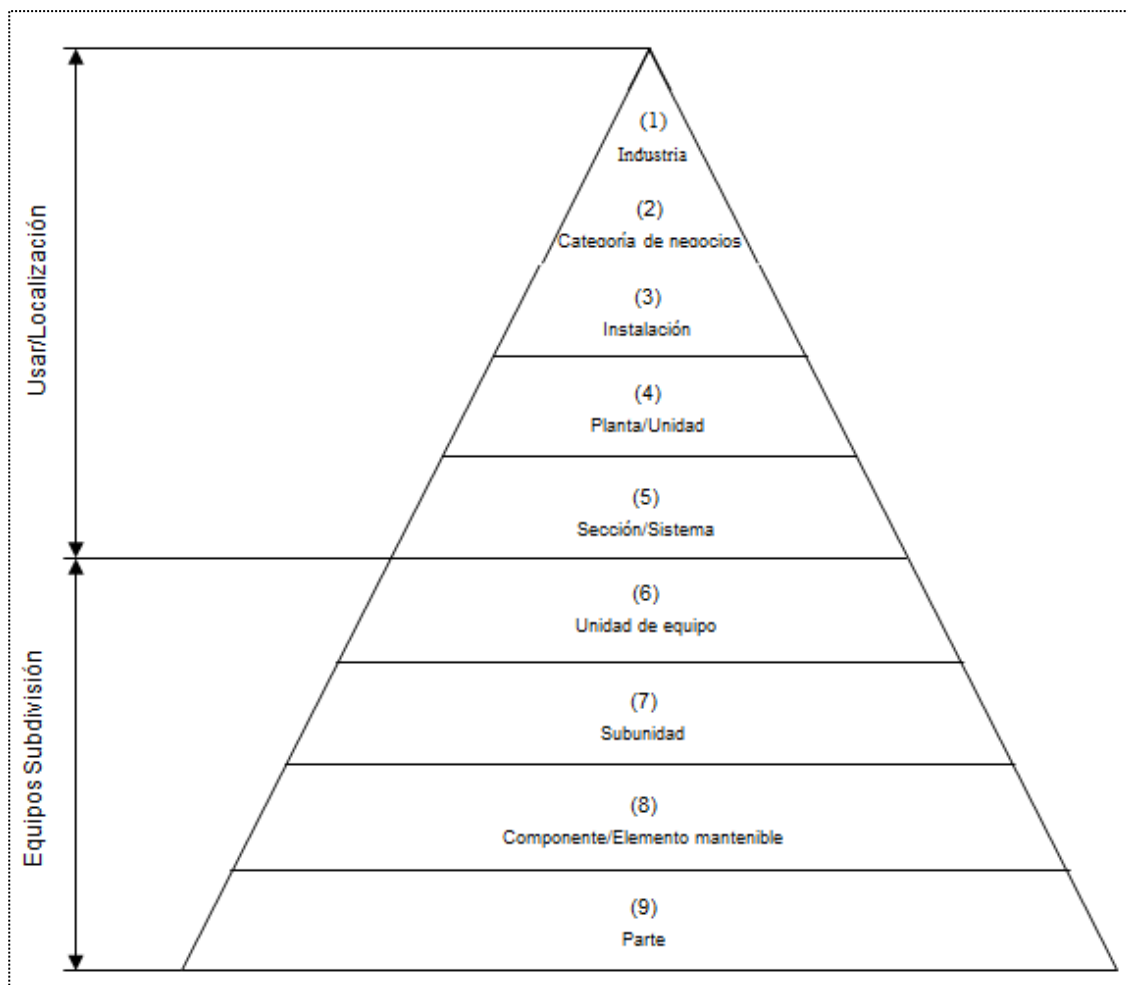


Figura 2-5: Taxonomía

*Fuente: (ISO 14224, 2006, p.18)*

#### **2.2.20. Tiempos de mantenimiento.**

ISO 14224, (2006), recomienda dos principales épocas del calendario durante el mantenimiento a ser recolectados, es decir; tiempo libre y el tiempo de reparación activa, la diferencia entre los dos se presenta en la Figura 2-6, el tiempo de inactividad incluye el tiempo calendario desde el momento en que el equipo se detiene para una reparación hasta que se vuelve a incorporar al servicio previsto, después de haber sido probado.

Aclara que el tiempo de mantenimiento activo es el tiempo normal en el que en realidad se están realizando trabajos de mantenimiento en el equipo, en base a esta definición, el tiempo de reparación activo no puede normalmente ser mayor que el tiempo de inactividad.



**NOTA:** Excepcionalmente, el tiempo de reparación activo puede ser mayor que el tiempo de inactividad si el mantenimiento se puede realizar con la unidad de equipo operando.

Advierte que el tiempo de operación necesario para apagar el equipo antes de la reparación y volverlo a operar con carga después de la reparación no es considerado como parte del tiempo de inactividad, debido a que generalmente el equipo está en tiempo de actividad de mantenimiento, la inclusión de estos tiempos servirá para evidenciar en donde existen retrasos ya sea por causas logísticas, por falta de disponibilidad de repuestos, distancia, etc.

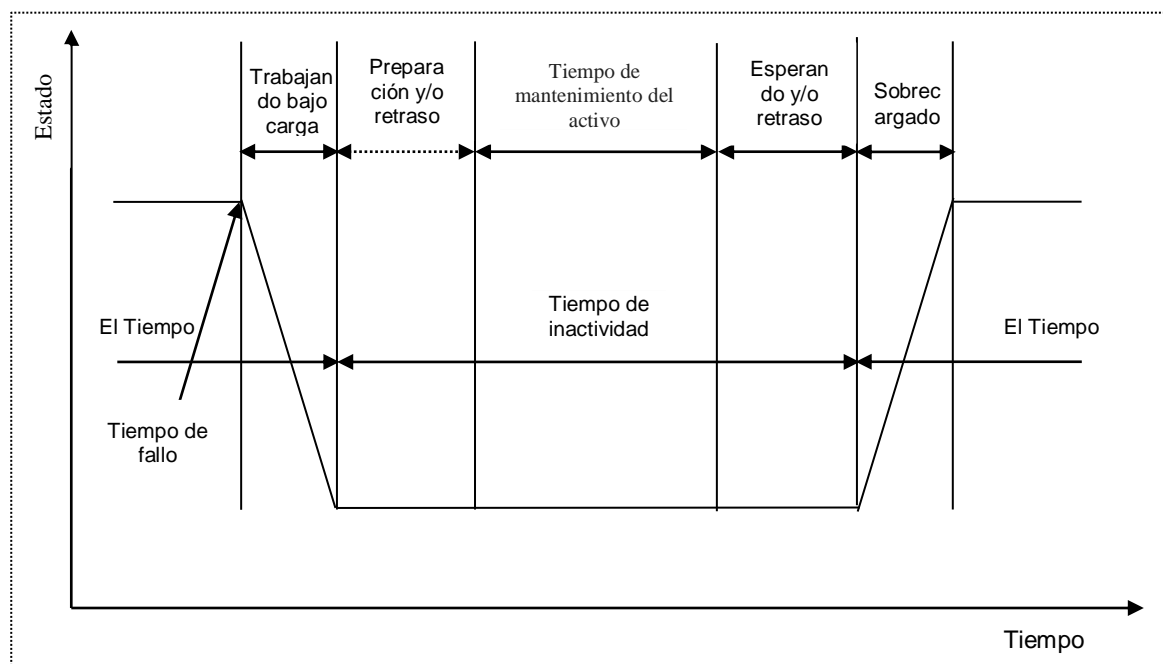


Figura 2–6: Tiempos de mantenimiento

*Fuente: (ISO 14224, 2006, p.22)*

### 2.2.21. Estandarización de datos para el fallo.

ISO 14224, (2006) explica que los datos de fiabilidad y mantenimiento se deben recopilar de forma organizada y estructurada y que las principales categorías de datos para equipos, fallo y mantenimiento son los siguientes:

Datos de la unidad (inventario).

Datos del Fallo.

Datos de mantenimiento.

Formato de datos.

### **2.3. Software “Máximo para Oil&Gas”.**

Según la página oficial de “Máximo para Oil and Gas”, se define como una solución completa de gestión de activos de empresa que ayuda a gestionar el equipo de producción, las instalaciones, el transporte y los activos de infraestructura en una única plataforma integrada.

Ayuda a las organizaciones a mejorar la seguridad, la fiabilidad y el rendimiento de conformidad. Todo ello al tiempo que reduce costes mediante la estandarización, la convergencia, la colaboración y la adopción de mejores prácticas operativas.

Dentro de las características más importantes menciona que permite a los gestores:

- Mejorar el análisis de activos.
- Facilitar la mejora continua.
- Estandarizar y compartir datos.
- Mejorar el aprendizaje de la organización.
- Cubrir las necesidades de salud, seguridad y medioambiente

### **2.4. Software “Relex 2009 versión evaluación”, características RBD**

Incluye potente motor de simulación inteligente como es el método de Monte Carlo.

Es compatible con el sistema de red simple serie-paralelo.

Maneja varias distribuciones de falla y reparación entre ellas incluyen:

- Exponencial
- Normal
- Log normal
- Weibull
- Rayleigh
- Independiente del tiempo
- Uniforme

Soporta 99 niveles de deshacer y rehacer.

Realiza cálculos de fondo para el uso eficiente del tiempo de proceso.

Permite la creación de diagramas visualmente agradables e ilustrativos.

Soporta selección de imágenes, fuentes, el tamaño y colores.

Realiza la fiabilidad, la disponibilidad, la tasa de fracaso, y los cálculos MTBF y MTTF.

Incluye algoritmo de optimización de repuestos

En el núcleo del módulo Relex RBD es la capacidad de simulación Monte Carlo altamente sofisticado. Permite Relex RBD para manejar todo, desde los sistemas básicos serie paralelo a, configuraciones de red aleatorias complejas.

El módulo de cálculo incluye una capacidad de decisión muy inteligente que analiza el diagrama. En realidad no cuenta con uno, sino varios métodos de análisis de los diagramas de modo que los cálculos se han optimizado basados en la configuración del sistema.

Relex determina el método más rápido y más eficiente de realizar el cálculo y debido a que la simulación de Monte Carlo se ejecuta como un proceso separado, se puede seguir utilizando relaciones exteriores, mientras que sus cálculos se ejecutan en segundo plano.

## **2.5. Offshore Reliability Data (OREDA)**

Es un proyecto patrocinado por ocho compañías de petróleo y gas con operaciones en todo el mundo. El propósito principal de OREDA es recolectar e intercambiar datos de confiabilidad entre las empresas participantes y actuar como coordinador y gestor en la gestión de coleccionar datos de fiabilidad dentro de la industria de petróleo y gas.

OREDA ha establecido una base de datos completa de fiabilidad y mantenimiento para la exploración y equipo de producción a partir de una gran variedad de áreas geográficas y contextos operativos, La base de datos OREDA está disponible para las empresas miembros y contratistas que trabajan en su nombre.

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño de investigación. (Métodos y materiales).

##### 3.1.1. *Modalidades investigación.*

Este proyecto se desarrolla en base a la investigación bibliográfica documental para determinar la relación entre la normativa internacional ISO 14224: 2006 “Industrias de petróleo y gas natural Recolección e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos” y lo realmente aplicado dentro del registro de fallas en los equipos que intervienen dentro del proceso de reinyección de agua.

Se completa con la investigación de campo con los datos registrados en el software de gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas” estos datos se verificaron y compararon en base a la realidad del contexto operativo para cada uno de los equipos.

##### 3.1.2. *Diseño y adquisición de datos.*

Del software para gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas” existe disponible la base de datos, que puede ser descargada en el archivo “*PAM\_WO\_FailureCodes 1.rev1.xls*” en formato Microsoft Excel, en el anexo D se presentan el histórico de las ordenes de trabajo filtradas por lugar de operación, tipo de equipo, tipo de falla, etc.

Así se obtiene la información en crudo sobre los registros de mantenimiento correctivo llenados por los recolectores de las diferentes especialidades de mantenimiento como son: técnicos eléctricos, mecánicos, instrumentación, automatización y predictivo.

De esta base de datos se puede obtener valiosa información como:

WONUM. esta columna presenta el número de orden de trabajo la cual esta codificada en los 4 primeros dígitos como el año y el mes de cuando se generó en el sistema, OT-1509XXXXX, los 5 números adicionales son secuenciales, se genera automáticamente en el software de gestión “Máximo para Oil&Gas”.

DESCRIPTION. Descripción rápida del trabajo realizado la cual puede ser editada libremente lo que implica uno de los principales problemas por no mantener una cultura de estandarización hace que el análisis sea más complicado.

ASET. Número de activo, generado automáticamente por el sistema con las letras iniciales EQ-XXXXXX, realmente no tiene ninguna relación con alguna codificación.

LOCATION. Se presenta un resumen de la codificación que se emplea para el sistema de reinyección de agua y las diferentes estaciones o lugares a los que hace referencia.

Tabla 3–1: Codificación, reinyección de agua, Bloque 57 Libertador

CODIFICACION DE UBICACIÓN SISTEMA REINYECCION DE AGUA			
LOCATION	Descripción	Reinyección de agua	Unidad funcional
ATP	Estación Atacapi	BRA	<b>SBBB:</b> Unidad motor-bomba booster para el sistema de reinyección de agua.  <b>SBRA:</b> Unidad motor cámara de empuje Bomba multietapa (HPS) para el sistema de reinyección de agua.
ATC-001	Pozo Atacapi 01		
ATC-003I	Isla Atacapi 03		
FRP	Estación Frontera		
PCP	Estación Pichincha		
SHH-003	Pozo Shushuqui 03		
SRP	Estación Shuara		
SYP	Estación secoya		
SCY-001I	Isla Secoya 01		
SCY-025	Pozo Secoya 25		
TPP	Estación Tapi		
TTP	Estación Tetete		

Fuente: Arias, José, 2015.

LOCATION DESCRIPTION. Presenta una descripción rápida del sistema y en qué proceso se lo utiliza.

TAG. Etiqueta o descripción en base a las letras iniciales del tipo de equipo que hace referencia y se presenta el resumen detallado para el sistema de reinyección de agua.

FAILURE CODE. Dentro del sistema de gestión Máximo Oil&Gas, se almacena como FAILURE CLASS, y detalla mediante codificación el tipo de equipo sobre el cual se ha generado el código de fallas.

Tabla 3–2: Codificación, equipos asociados al sistema de reinyección de agua.

CODIFICACION DE EQUIPOS SISTEMA REINYECCION DE AGUA	
TAG	DESCRIPCION
VSD-XXXX	Variador de frecuencia.
SS-XXXX	Arrancador suave.
PCF-XXXX	Bomba centrifuga.
MEL-XXXX	Motor eléctrico.
TCH-XXXX	Cámara de empuje (Thrust chamber).

*Fuente: Arias, José, 2015.*

WORK TYPE. Detalla el tipo de trabajo que se realizó en el equipo para este caso de análisis siempre será CME (Mantenimiento correctivo de emergencia).

REPORTED BY (Reportado por). Indica el nombre de quien reporta el trabajo a realizarse.

REPORTED DATE (Fecha reportada). Indica la fecha en la que se reporte el trabajo.

STATUS. Para realizar el análisis solo se debe considerar los estados COMP (Orden de trabajo completa) y CLOSE (orden de trabajo cerrada), la única diferencia es que la orden de trabajo cerrada ya fue revisada por personal de administración del software “Máximo para Oil&Gas”.

PROBLEM: Problema basado en la normativa ISO 14224:2006.

CAUSE. Causa basado en la normativa ISO 14224:2006.

REMEDY. Solución basada en la normativa ISO 14224:2006

DOWNTIME. Tiempos fuera de operación por causa de mantenimiento correctivo.

CREWID (Work Group). Grupo de supervisión ELS (eléctrico), MES (mecánico), INS (instrumentación).

LEAD. Grupo de técnicos EL (eléctrico), ME (mecánico), IN (instrumentación).

HOURS LABOR. Indica el tiempo total empleado por todo el personal involucrado (incluye supervisión y el tiempo de todos los técnicos que se empleó para este trabajo)

HOURS WORK. Indica el trabajo efectivo en el equipo considerando el número de técnicos que realizo trabajo directo sobre el equipo.

HOURS INDIRECT. Indica el tiempo que se empleó en logística, esto incluye viajes al lugar de trabajo, retiro de material de bodega y la elaboración de reportes e informes.

COST. Indica el costo de mano de obra acumulado que se empleó en la realización de esta actividad incluida los tiempos directos e indirectos por el valor de hora del personal reportado.

MAT. Indica el costo de materiales utilizados para resolver el inconveniente.

START. Indica el tiempo en el cual inicio el trabajo efectivo en sitio.

FINISH. Indica el tiempo en el cual se finalizó el trabajo incluido pruebas.

### ***3.1.3. Tipos o niveles de investigación.***

El tipo de investigación realizado como primera parte es exploratorio por no detectar hasta el momento ningún modelo de fiabilidad propuesto para el bloque 57 Libertador.

Posteriormente es descriptivo al analizar los fallos (variable independiente) y crear modelos de comportamiento como disponibilidad y fiabilidad (variables dependientes) para los equipos asociados al sistema de reinyección de agua.

Se torna más interesante al tratarse de un contexto operacional diferente al de otros procesos por la magnitud de variables que no dependen de la fiabilidad intrínseca de los equipos, sino de factores externos sobre los cuales el departamento de mantenimiento no tiene responsabilidad pero que afectan a los equipos y su presupuesto.

Interviene el tipo de investigación asociación de variables al obtener los datos de muestra de registros desde la fecha de 1 de enero del 2013 hasta la fecha de finalización 31 de julio del 2015 para una población específica como son los sistemas de reinyección de agua del bloque 57 Libertador.

#### 3.1.4. Límites del sistema de reinyección de agua.

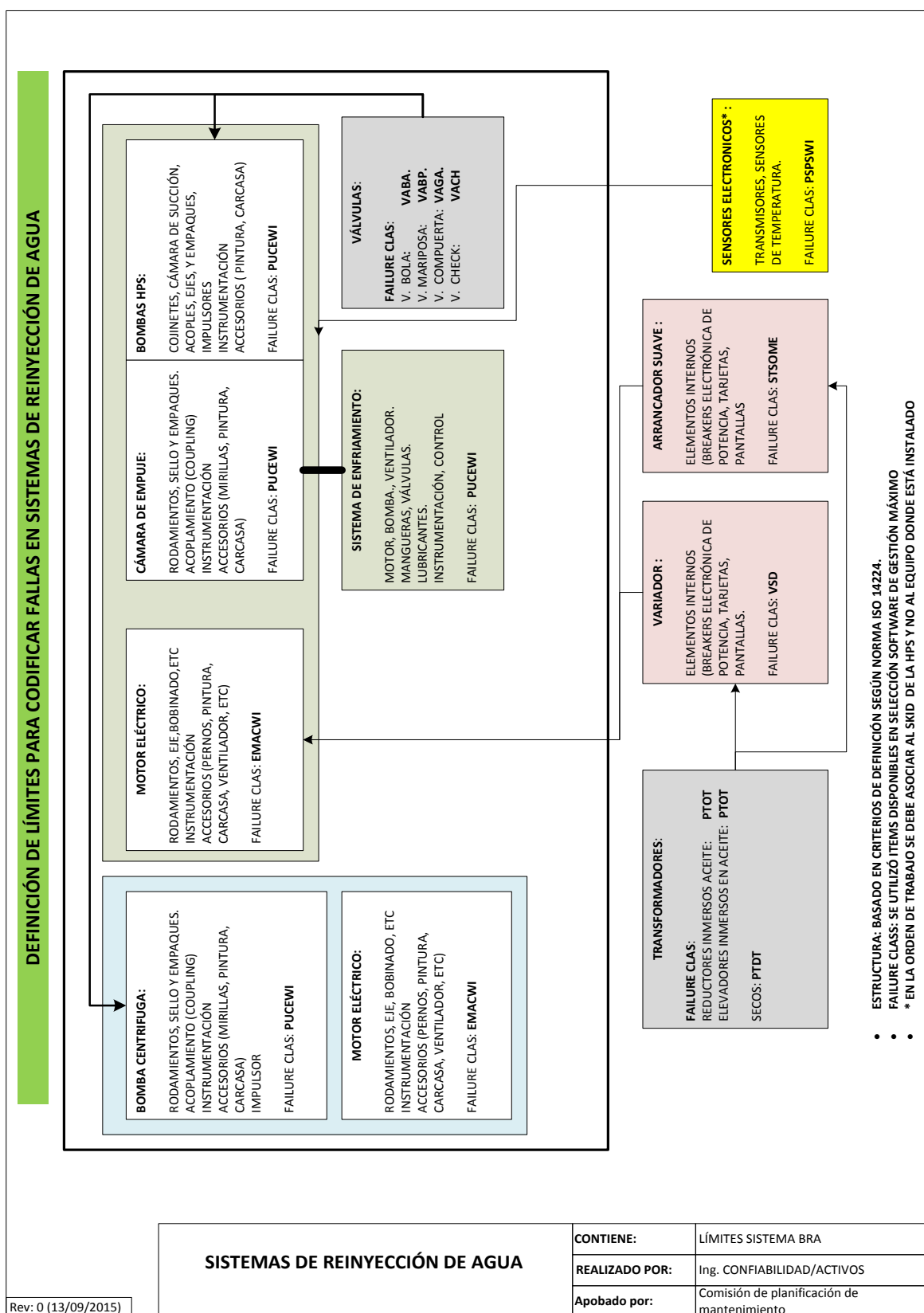


Figura 3–1: Diagrama de límites en sistemas de reinyección

*Fuente: Arias, José, 2015.*



Para evaluar la fiabilidad del sistema se empieza por definir los límites sobre los cuales se realizara el estudio y la recolección de datos de fallos, este diagrama se aplica a todos los sistemas de reinyección de agua disponibles y futuros por considerar que serán similares.

El diagrama está basado en las recomendaciones planteadas por la norma ISO 14224 (2006), (p.17).

### 3.1.5. Población.

En la figura 3-2 se define que el número de tipo de equipos es inferior a 100 equipos para cada tipo, por lo tanto es necesario trabajar con toda la población determinada por tipo de equipo.

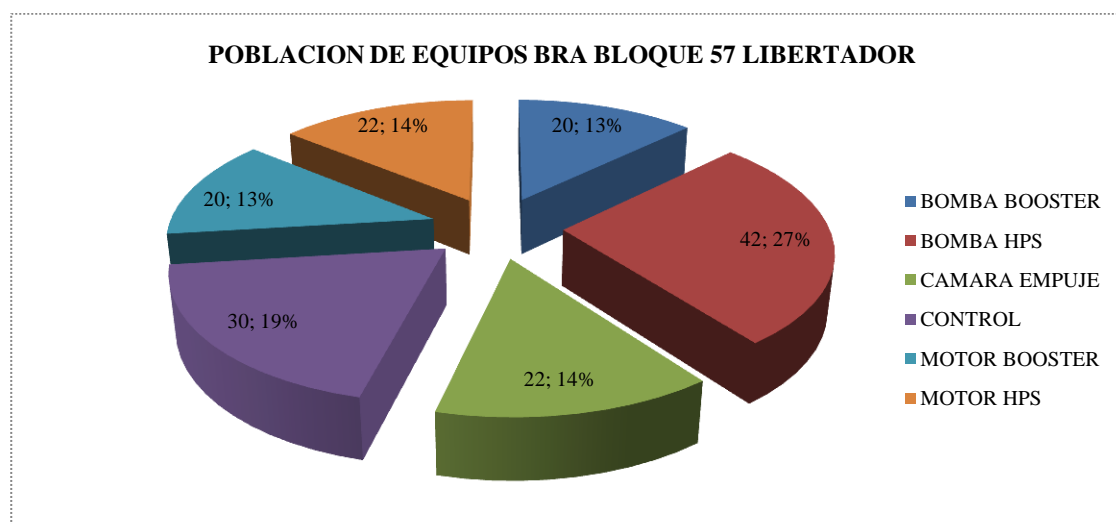


Figura 3–2: Población de equipos sistemas de reinyección de agua.

*Fuente: Arias, José, 2015.*

### 3.1.6. Entorno.

Definida la población de datos se utilizaran datos históricos de fallos de todos los tipos de equipos por separado, desde el 1 de enero del 2013 hasta el 31 de julio del 2015, (evidencias) de todos los equipos del sistema de reinyección de agua de las diferentes campos de producción del Bloque 57 Libertador.

No se consideran otros bloques de producción de la empresa por no tener influencia sobre estos y por considerar que es posible que su contexto operativo sea diferente, el estudio por lo tanto se limita a lo resumido en la tabla 3-3, se presenta el total de ubicaciones de equipos y cantidades.

Tabla 3–3: Ubicación de equipos en sistemas de reinyección de agua

<b>UBICACIÓN DE EQUIPOS SISTEMA REINYECCIÓN DE AGUA DE BLOQUE 57 LI</b>							
<b>Ubicación</b>	<b>Bomba booster</b>	<b>Bomba HPS</b>	<b>Cámara empuje</b>	<b>Sistema control</b>	<b>Motor booster</b>	<b>Motor HPS</b>	<b>TOTAL</b>
ATC-001	1	4	2	2	1	2	13
ATC-003I	0	3	1	1	0	1	8
ATP	2	0	0	0	2	0	4
FRP	2	3	2	2	2	2	13
PCP	2	4	3	4	2	3	18
SCY-001I	0	4	2	2	0	2	14
SCY-0025	2	1	1	1	2	1	9
SHH-003	2	5	2	3	2	2	19
SRP	2	10	4	6	2	4	30
SYP	3	0	0	3	3	0	9
TTP	2	4	3	4	2	3	19
TPP	2	4	2	2	2	2	15
Total Equipos	20	42	20	30	20	22	156

*Fuente: Arias, José, 2015.*

Es necesario aclarar que las bombas HPS (horizontal power suply) se conforman por varias etapas las cuales forman un cuerpo, mediante cálculos obtenidos por el departamento de ingeniería de petróleos de Petroamazonas EP y en base a las condiciones de la formación, determinan la presión requerida, entonces es necesario acoplar en serie más de un cuerpo de bomba, con ello se incrementa la probabilidad de falla al tener más equipos operativos.

Sin embargo de registrar una falla generalmente se lo realiza al conjunto de bombas, considerado solo como un elemento funcional.

### **3.1.7. Intervenciones**

Del total de datos disponibles se realiza un filtrado de las ordenes de trabajo correctivo por cada tipo de equipo según corresponda al sistema de reinyección de agua (BRA) de los cuales se

obtiene datos importantes para calcular tiempo hasta el fallo (MTTF), el tiempo medio para reparar (MTTR), con ello se puede establecer tendencias estadísticas para el análisis RAM (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).

En la tabla 3-4 Se presenta los datos obtenidos del archivo “*PAM\_WO\_FailureCodes 1.rev1.xls*” en donde se establece los tiempos hasta el fallo para la cámara de empuje, en el anexo D, se presenta los registros para cada uno de los equipos que intervienen en el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador.

En los registros analizados se encontró varias inconsistencias, entre las deviancias más comunes son el no reportar correctamente el trabajo de una forma ordenada y estandarizada, confundir términos y definiciones de actividades de mantenimiento, reportes de falla sin un análisis adecuado y llenado con códigos de otros (OTH) y desconocido (UNK)

Por esta razón se consideró presentar en el anexo E, recopilación de formatos rápidos y fácil aplicación que de ejecutarse se eliminará las desviaciones y se podrá mantener el proceso de mejora continua, en el cual se ha encaminado la empresa Petroamazonas EP

Tabla 3–4: Registros de falla para cámaras de empuje bloque 57 Libertador.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF (días)	Censura	TTR (horas)
OT-140044635	SLB-INSTALACION DE CAMARA DE EMPUJE Y DESMONTAJE DE DOS SEGMENTOS DE BOMBA	TCH-0067	PCP-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	1/19/14	7/30/15	557	X	5
OT-140089541	TCH-0038 CAMBIO DE MANGUERA DEL FILTRO DE ACEITE A LA CAMARA DE EMPUJE	TCH-0038	ATC-003I-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	5/3/13	1/10/14	252		5
OT-140354777	OS-113703-SLB-20140502-CAMBIO DE SELLO MECANICO Y RETENEDOR.	TCH-0028	TTP-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	8/6/13	5/2/14	269		8
OT-140410024	OS-113703-SLB-20140520-CAMBIO DE KIT DE ORING EN CAMARA DE EMPUJE.	TCH-0029	FRP-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	5/10/13	5/20/14	375		7
OT-150464137	OS-130880-SLB-20150428 TECNICO PARA CAMBIO DE SELLO MECÁNICO Y PLATE ADAPTER.	TCH-0029	FRP-BRA-SBRA-01	PUCEWI	ELU	5/20/14	4/28/15	343		7
OT-140233644	TCH-0057 CORRECCION DE FUGA DE AGUA	TCH-0057	SRP-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	3/23/14	7/30/15	494	X	4
OT-140105804	TCH-0036 CAMBIO DE CAÑERÍA DE ACEITE DE RECIRCULACION DE LA CAMARA DE EMPUJE	TCH-0036	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	2/12/14	7/30/15	533		2
OT-140319344	OS-113703-SLB-201404-REPARACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO REPARADO	TCH-0068	PCP-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	6/21/13	4/23/14	306		2
OT-140341286	OS-113703-SLB-20140428-CAMBIO DE RETENEDOR.	TCH-0060	TTP-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	2/21/13	6/2/14	466		6
OT-140150807	OS-108316-GE-20140225-CAMBIO CAMARA DE EMPUJE	TCH-0036	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	3/17/13	2/26/14	346		9
OT-140944366	OS-130880-SLB-20141006-SERVICIO DE REPARACION E INSTALACION DE CAMARA DE EMPUJE HPS	TCH-0068	PCP-BRA-SBRA-01	GENERAL	OHE	4/23/14	12/7/14	228		3

Tabla 3-4: Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF (días)	Censura	TTR (horas)
OT-141094184	CMP CAMBIO DE ORING EN LINEA DE SUCCION	TCH-0079	SHH-003-BRA-SBRA-01	PURMPH	PDE	11/20/14	7/30/15	252	X	9
OT-150000528	CME: CAMBIO DE CAÑERIA EN EL SISTEMA DE LUBRICACION.	TCH-0130	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	2/12/14	1/2/15	324		4
OT-150065675	TCH-0130; CAMBIAR MANGUERA DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	TCH-0130	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCEUT	ELU	2/12/14	1/18/15	340		3
OT-150086499	OS-130880-SLB-201501-REPARAR CAMARA DE EMPUJE OT-017	TCH-0088	TPP-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	12/8/13	1/26/15	414		2
OT-150101095	TCH-0038:: CM DE LA CAMARA DE EMPUJE CORRECCION DE FUGA DE ACEITE	TCH-0038	ATC-003I-BRA-SBRA-01	PICA	ELP	1/10/14	1/28/15	383		3
OT-150114426	OS-130880-SLB-20150129 SERVICIO TECNICO PARA REPARACION MENOR DE CAMARA DE EMPUJE	TCH-0069	PCP-BRA-SBRA-03	PUCTP	LBP	1/1/14	1/29/15	393	X	5
OT-150116423	OS-130880-SLB-20150114 SERVICIO TECNICO PARA CAMBIO DE RETENEDOR DE LA CAMARA DE EMPUJE	TCH-0041	TPP-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	12/8/13	7/30/15	599		12
OT-150463234	TCH-0130: CORRECCION DE FUGA DE ACEITE.	TCH-0130	SCY-025-BRA-SBRA-01	PIPELINE	ELP	1/1/14	7/30/15	575		4
OT-150745857	OS-130880-SLB-20150708-SERVICIO TECNICO PARA CAMBIO DE O-RING-OT-046	TCH-0060	TTP-BRA-SBRA-02	GENERAL	ELU	6/2/14	7/8/15	401		6
OT-150745860	OS-130880-SLB-20150707-SERVICIO TECNICO PARA CAMBIO DE O-RING-OT-045	TCH-0118	TTP-BRA-SBRA-03	GENERAL	ELU	1/1/14	7/7/15	552		5
OT-150785842	OS-129156-GE-20150722-CAMBIO DE SELLO MECANICO-OT-XXX	TCH-0039	ATC-001-BRA-SBRA-02	PUCTP	LBP	1/1/14	7/30/15	575	X	8

Tabla 3-4: Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF (días)	Censura	TTR (horas)
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0030	FRP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0073	SHH-003-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0059	SRP-BRA-SBRA-04	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0058	SRP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	10/12/13	7/30/15	656	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0132	SRP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0034	SCY-001I-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0031	TPP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	8/6/13	7/30/15	723	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA	TCH-0035	SCY-001I-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	6/25/13	7/30/15	765	X	0

*Fuente: Arias, José, 2015.*

### 3.1.8. *Análisis estadístico.*

Definida la población y revisados los registros de las órdenes de trabajo para cada tipo de equipo, en algunos casos al no encontrar los registros dentro de la base de datos se optó por buscar en registros impresos, bitácoras o informes diarios para poder establecer una cantidad considerable de datos y que la estimación mejore el grado de confianza.

Debido a la falta de estandarización para el correcto almacenamiento de datos, se validan de forma manual para ingresar a los registros de fallas en el archivo de cálculo, esto será necesario mientras no se aplique el modelo específico propuesto en el anexo E.

El presente documento hace referencia a una hoja electrónica para ingresar datos falla y el cálculo de los parámetros requeridos para la distribución exponencial y Weibull, una vez obtenidos los tiempos hasta el fallo (TTF) y analizados si son datos válidos o censurados se realiza los cálculos de forma automática, en base al estimador de datos Kaplan meiers, una vez que se linealiza se logra verificar el ajuste  $R^2$ , se debe elegir el que más se acerque a 1(unos).

En el modelo propuesto no se considera otras distribuciones de probabilidad por considerar que no es factible aplicar más análisis matemáticos cuando los datos originales aun no presentan una realidad y las proyecciones estadísticas están alejadas de grados de confianza razonables.

Se presentara un ejemplo del procedimiento de cálculo para las cámaras de empuje, por considerar uno de los elementos más críticos dentro del sistema.

- Filtrar los datos del equipo requerido para análisis en este caso es todas las cámaras de empuje del Bloque 57 Libertador.
- Analizar los datos obtenidos de los registros de falla para verificar incoherencias y realizar el cálculo en días del tiempo hasta el fallo (TTF) y tiempo utilizado para reparar (TTR) para cada registro por equipo.
- Si no se encuentra más de una falla registrada, se considerara como un dato censurado y se le debe colocar una X en la celda de censura.
- Realizar una copia de los datos de las columnas TTF d (días) y de la columna censura.

Abrir la hoja de cálculo RAMS.xls y seleccionar la pestaña Kaplan ubicarse en la celda 2A dar click derecho y seleccionar pegar valores, si existen valores anteriores que no corresponden a este equipo en análisis se debe borrarlos.

Al pulsar el botón Kaplan ubicado en la derecha superior y verificar que los datos se actualicen se presentan datos similares a los mostrados en la tabla 3-5 y los resultados de los ajustes de las rectas para exponencial y Weibull.

Tabla 3–5: Cálculos con estimador Kaplan meiers, datos de falla, cámaras de empuje

Tiempo Fallo t	x	# Supervivencia	Supervivencia R(t)	Distribución F(t)	WEIBULL X = LN(t)	WEIBULL Y = LN(LN(1/(1-F(t))))	EXP. X = t	EXP. Y = LN(1-F(t))
228		30	0.96667	0.03333	5.42935	-3.38429	228	-0.03390
252		29	0.93333	0.06667	5.52943	-2.67375	252	-0.06899
252	x							
269		27	0.89877	0.10123	5.59471	-2.23742	269	-0.10673
306		26	0.86420	0.13580	5.72359	-1.92446	306	-0.14595
324		25	0.82963	0.17037	5.78074	-1.67785	324	-0.18678
340		24	0.79506	0.20494	5.82895	-1.47257	340	-0.22934
343		23	0.76049	0.23951	5.83773	-1.29540	343	-0.27379
346		22	0.72593	0.27407	5.84644	-1.13847	346	-0.32031
375		21	0.69136	0.30864	5.92693	-0.99669	375	-0.36910
383		20	0.65679	0.34321	5.94803	-0.86657	383	-0.42039
393	x							
401		18	0.62030	0.37970	5.99396	-0.73909	401	-0.47755
414		17	0.58381	0.41619	6.02587	-0.61957	414	-0.53817
466		16	0.54733	0.45267	6.14419	-0.50632	466	-0.60271
494	x							
533		14	0.50823	0.49177	6.27852	-0.39035	533	-0.67682
552		13	0.46914	0.53086	6.31355	-0.27857	552	-0.75686
557	x							
575		11	0.42649	0.57351	6.35437	-0.15997	575	-0.85217
575	x							
599		9	0.37910	0.62090	6.39526	-0.03050	599	-0.96996
656	x							
723	x							
765	x							
940	x							
940	x							
940	x							
940	x							
940	x							
940	x							
					100.9516			
					0	-20.39186	6706	-7.02952

Realizado por: Arias, José, 2015.



Analizar la ecuación de la recta en el Figura 3-3 y los resultados de la tabla 3-6 para verificar si el ajuste Weibull presento mejor ajuste en base al coeficiente de determinación  $R^2$ , si los resultados son similares se optará por la distribución exponencial presentado en el grafico 3-5 y los resultados de la tabla 3-7, al considerar la más apropiada y en base a la cual se puede estimar que la tasa de fallos es constante y se encuentra en un periodo de vida útil.

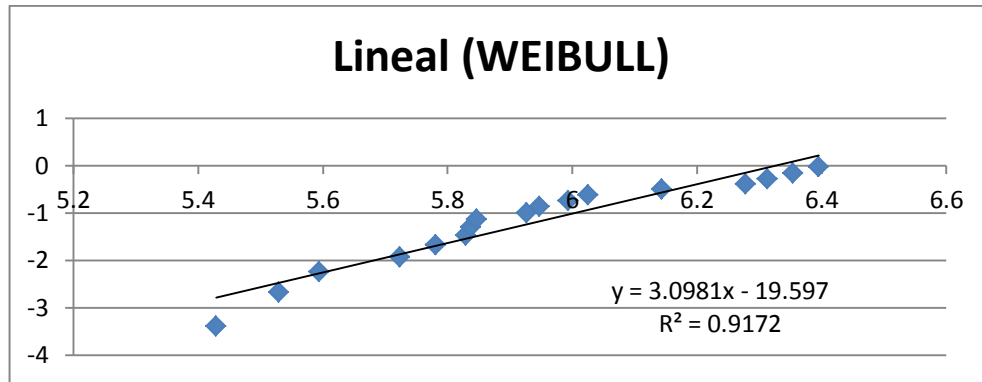


Figura 3–3: Linealización mediante análisis Weibull, cámaras de empuje.

*Elaborado por: Arias, José, 2015.*

De los resultados se observan que el parámetro de forma  $\beta$  corresponde a la pendiente de la recta el parámetro  $\eta = e^{b/\beta}$ , al presentar  $R^2$  se observa que tan factible es el en este caso es superior a 0.91, sin embargo es mejor analizar si la distribución exponencial presente un mejor ajuste.

(Galván, et al 2014) Proponen que

El  $\bar{T} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$  =MTTF (tiempo medio entre fallas para la función Weibull)

Se puede calcular usando  $\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) = \text{EXP}(\text{GAMMA.LN}(x))$

Donde  $x = \left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$ .

### Ecuación 3–1

Tabla 3–6: Análisis Weibull para cámaras de empuje.

#### WEIBULL

$\beta =$	3.09809
$\eta =$	558.64266
$Y =$	$3.09809 X - 19.59703$
$R^2 =$	0.91723
MTTF =	499.5826972

*Elaborado por: Arias, José, 2015.*

Al obtener un parámetro de forma  $1 < \beta < 4$  (mayor a 1 y menor que 4) se puede afirmar que este tipo de equipos está en periodo de vida útil.

En el Figura 3-4, se presenta la linealización para función exponencial presenta más cercanía de los puntos a la recta.

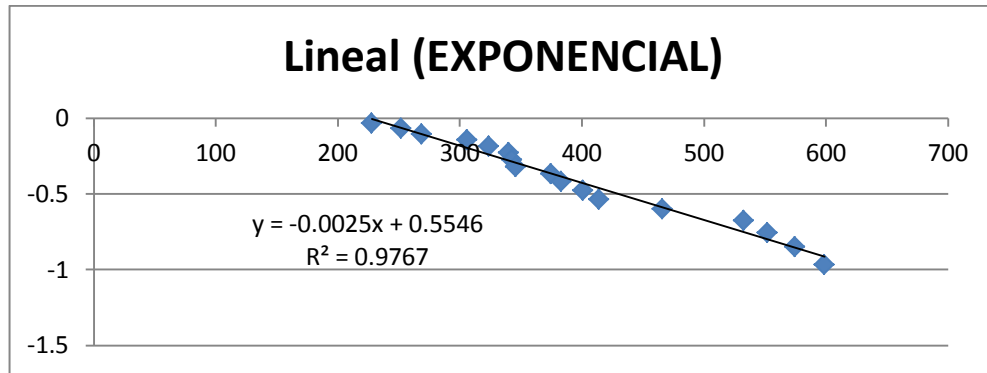


Figura 3-4: Linealización mediante análisis Exponencial, cámaras de empuje.

*Elaborado por: Arias, José, 2015.*

De los resultados en la tabla 3-7, se observan que la tasa de fallos  $\lambda$  corresponde a la pendiente de la recta el parámetro gamma resulta de dividir  $0,5546/0,0025$   $\gamma = b/\lambda$ , al presentar  $R^2$  se observa en este caso es superior al encontrado para Weibull y es superior a 0.97, además es importante notar que se disponen datos para estimar la fiabilidad exponencial de dos puntos y por lo tanto es más confiable.

Tabla 3-7: Análisis Weibull para cámaras de empuje.

#### EXPONENCIAL

$\lambda =$	0.002454142
$\gamma =$	225.9793589
$Y =$	-0.00245 X + 0.554585
$R^2 =$	0.97668
$MTTF =$	407.4743913

*Elaborado por: Arias, José, 2015.*

Finalmente se requiere calcular los tiempos medios de reparación.

El procedimiento básicamente es el mismo y el análisis de resultados similar lo único que se debe aclarar es que no existen datos censurados para los tiempos de reparación, por lo tanto esto se puede hacer incluso con otros estimadores como Bernard.

Básicamente este procedimiento se realizó para todos los registros y equipos del sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador, obteniendo así datos de tasas de falla genéricos, verificando el mejor ajuste según aplique la distribución exponencial o Weibull con las respectivas tiempo medio para reparar (ver anexo F).

Al transformar los datos encontrados originalmente en días calendario, al verdadero contexto operativo de los equipos en horas de funcionamiento diario, se pudo estimar los parámetros de fiabilidad exponencial y Weibull, para todos los equipos asociados al sistema de reinyección de agua en todas las estaciones de producción.

Luego de realizar el ajuste para cada una de las estaciones mediante el análisis del tiempo en horas de operación promedios y la distribución física y funcional de los equipos, se procedió a calcular la fiabilidad real del sistema completo en todas las estaciones, proyectando a diferentes horas de operación mediante las premisas de diagramas de bloque de fiabilidad en serie o paralelo.

Es de esta manera como se presentan los diagramas de bloque de fiabilidad resultante en todas las estaciones y se presentan los equipos según su instalación basados en los diagramas P&ID (diagrama de tubería e instrumentación) y basado en el contexto real de operación.

Para garantizar la efectividad del cálculo se realizó una comparación en una estación mediante el software Relex 2009 versión evaluación de donde se obtendrá información similar al ingresar los valores requeridos.

Se aclara que el software Relex 2009 facilita una licencia de uso de 30 días tiempo en el cual se pudo establecer las comparaciones respectivas.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la hoja de cálculo “RAMS PARA BRA B57 Libertador”, archivo de Microsoft Excel, se presentan los respaldos para el cálculo realizado en cada una de las estaciones que disponen de sistema de reinyección de agua, este archivo servirá de base para futuros análisis y de esta manera poder realizar una actualización y comparación de cómo ha mejorado el sistema en base a las recomendaciones que se apliquen.

#### 4.1. Resultados campo Atacapi.

El contexto operativo del campo se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-1.

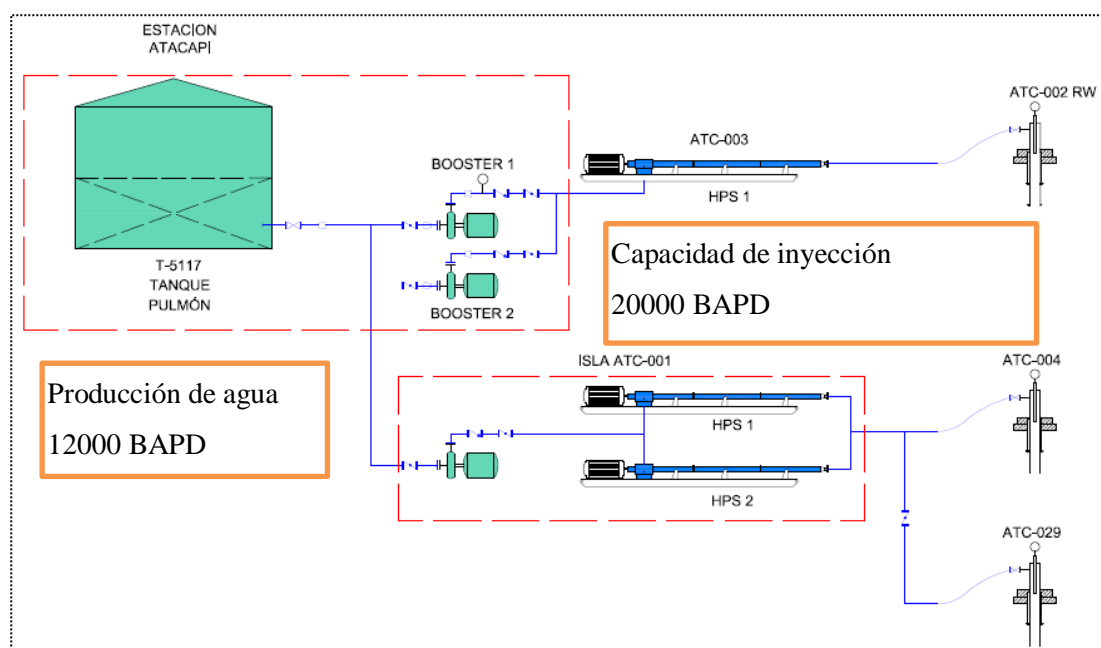


Figura 4–1: Distribución sistema de reinyección agua, campo Atacapi.

*Fuente: Integridad Mecánica BL57, 2015.*

El agua de formación se envía desde el tanque de almacenamiento a dos pozos, isla Atacapi 03 e isla Atacapi 01, dentro de estas existen facilidades para direccionar el agua a tres pozos, Atacapi

2, 4, 29, cualquier unidad puede desplazar 10000 barriles de agua por día aproximadamente, con lo que se cubre la demanda fácilmente.

En la Figura 4-2 representa el diagrama de bloques de fiabilidad por equipos, obtenido de las estimaciones realizadas mediante distribución Weibull o exponencial, con lo cual se realiza el cálculo de fiabilidad del sistema.

Se realizó el cálculo para 3000 horas de funcionamiento continuo, con lo cual se obtuvo un 37,5% de probabilidad que el sistema no haya fallado, es necesario indicar que al mantener tres unidades HPS que puedan desplazar volúmenes similares de la producción diaria es posible mantener el nivel de disponibilidad intrínseca sobre el 99% y se tendrá una falla en el sistema.

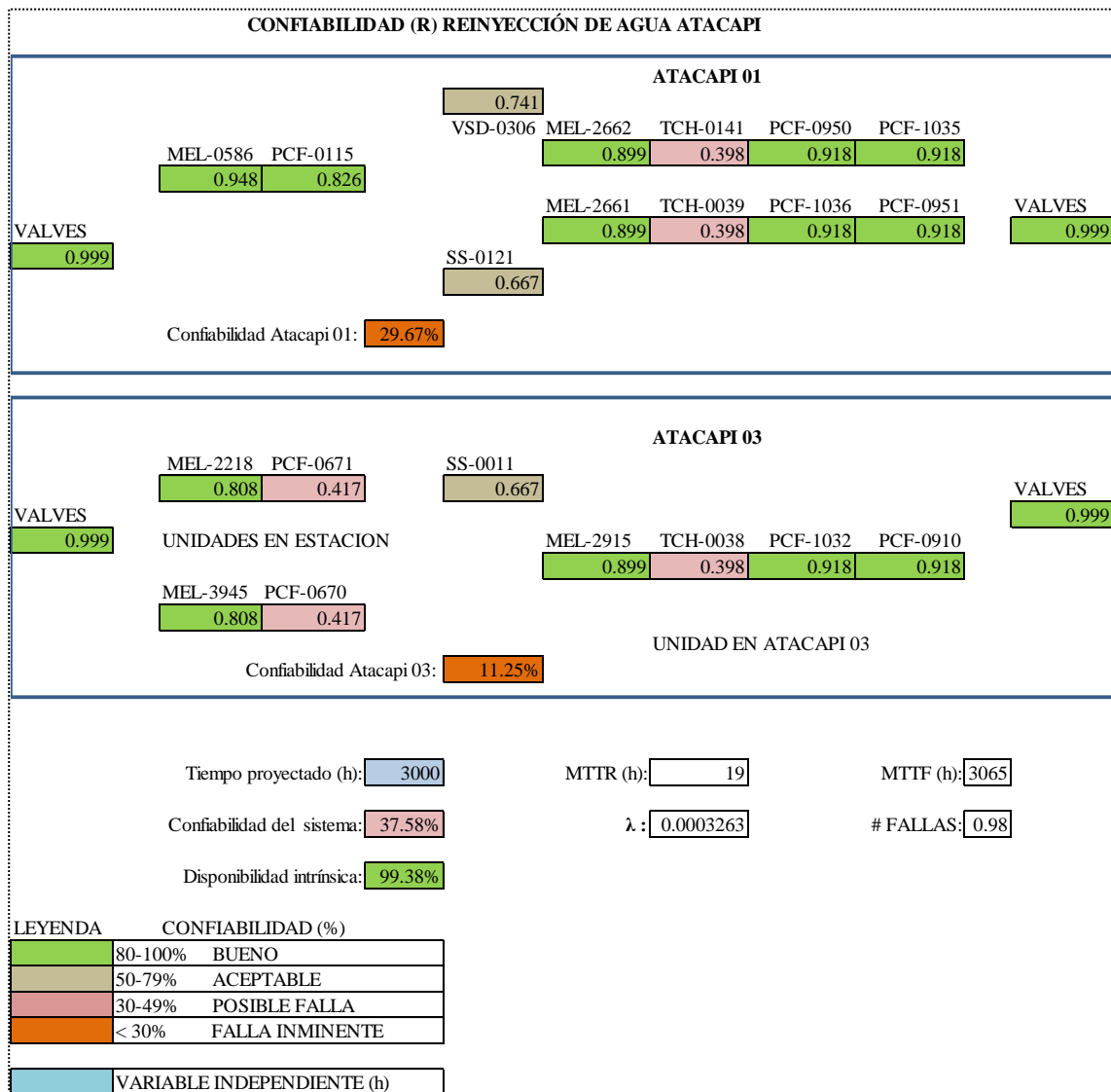


Figura 4–2: RBD sistema de reinyección agua, campo Atacapi, 3000 horas.

Fuente: Arias, José, 2015, basado en análisis de fiabilidad del sistema, campo Atacapi.

#### 4.1.1. Discusión campo Atacapi.

Del análisis los valores de fiabilidad por equipo para 3000 horas de funcionamiento se observa que la cámara de empuje presenta la menor fiabilidad, razón por la cual se ratifica que el periodo de mantenimiento sea trimestral.

Otro elemento con menor fiabilidad son las bombas centrífugas Booster, se recomienda mantener el periodo de mantenimiento cada 6 meses.

Los motores eléctricos, bombas HPS y sistemas auxiliares justifican elevar los periodos de mantenimiento preventivo al año.

Respecto al sistema de control se confirma la necesidad de realizar actualización de equipos porque el sistema de arrancador actualmente está obsoleto y no dispone de repuestos reduciendo la fiabilidad, se inició por migrar a variadores de velocidad y se evidencia que en la unidad HPS 1 del pozo Atacapi 01 se incrementó la fiabilidad del equipo.

#### 4.2. Resultados campo Frontera.

El contexto operativo del campo se basa en el plano esquemático presentado en el Figura 4-3.

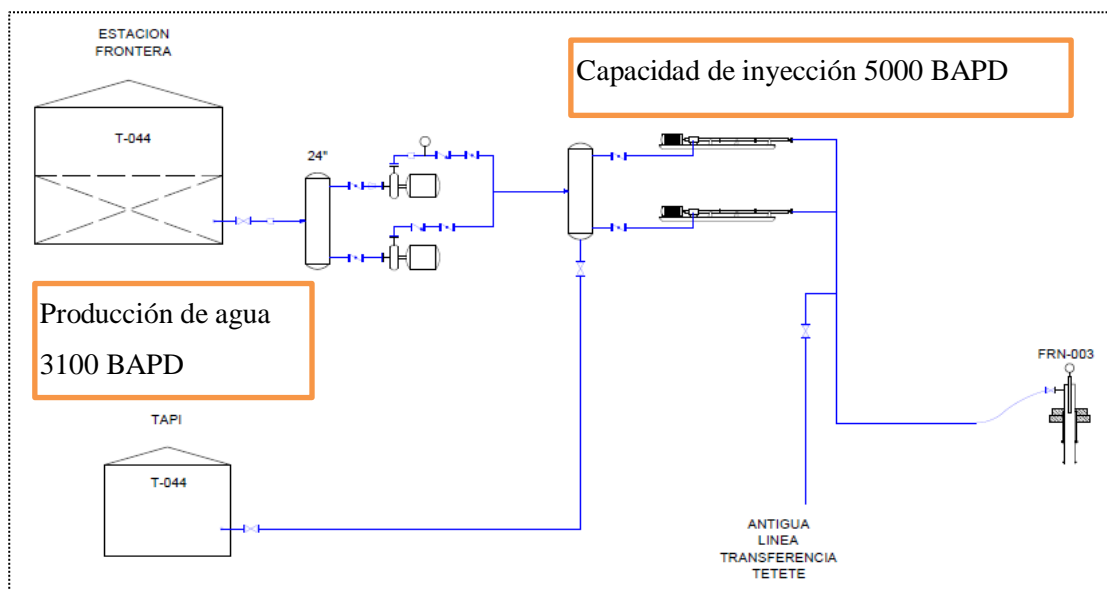


Figura 4–3: Distribución sistema de reinyección agua, campo Frontera.

Fuente: *Integridad Mecánica BL57, 2015.*

Se envía agua de formación desde el tanque de lavado a través de las unidades booster y HPS de capacidad 5000 barriles por día cada una, hasta el único pozo re inyector Frontera 03, el cual permite una admisión máxima de 5000 barriles por día, cubriendo ampliamente la demanda de 3100 barriles producidos en el campo.

En caso que este pozo presente problemas de taponamiento y se requiera realizar algún trabajo con torre, o las dos unidades HPS no estén disponibles, se puede direccionar el agua hacia la estación Tapi, para no parar producción.

En el Figura 4-4 se presenta el cálculo realizado para 3000 horas de funcionamiento continuo, con lo cual se obtiene un mínimo valor de 11,39% de probabilidad que el sistema no haya fallado, es necesario indicar que el contexto operativo de este campo es sumamente delicado, en ocasiones las condiciones de altas concentraciones de sólidos en el agua de formación ha provocado taponamiento, atascamiento en las bombas e incluso rotura de eje (ver anexo G).

Respecto a la disponibilidad intrínseca de 98,78% es demasiado baja para tan corto tiempo, es aceptable por tener más de dos fallas en este periodo, hace necesario mantener las unidades en observación.

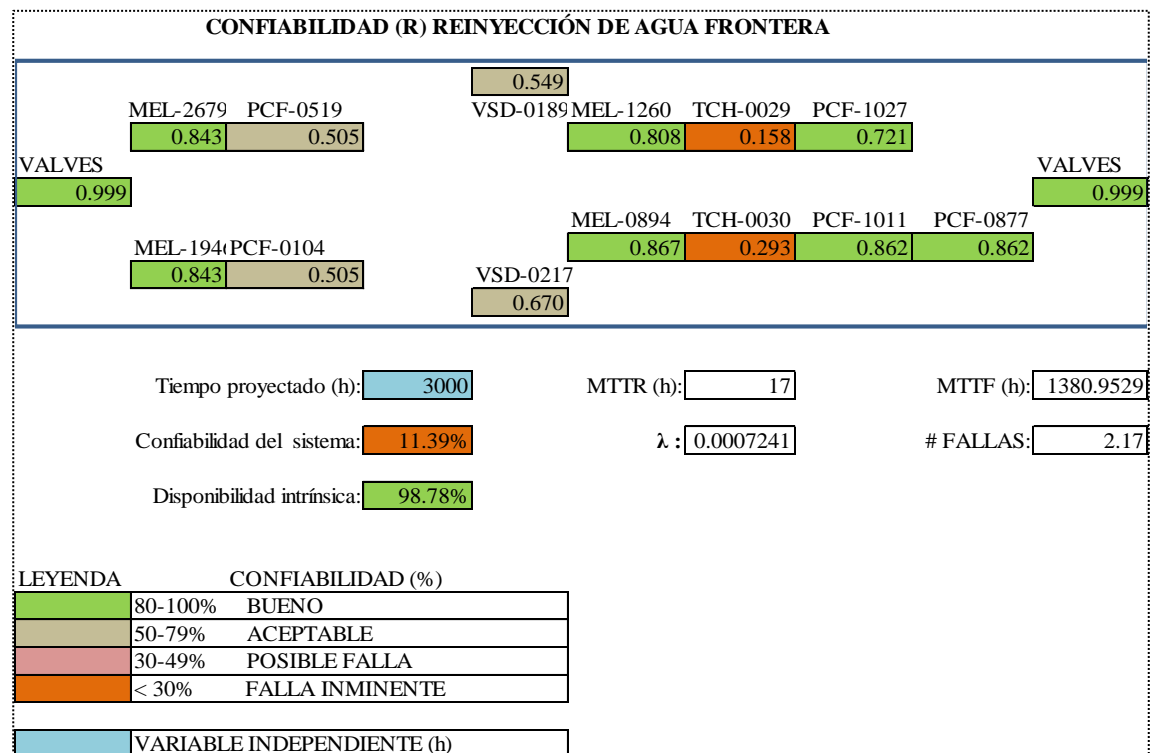


Figura 4–4: RBD sistema de reinyección agua, campo Frontera, 3000 horas.

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

#### ***4.2.1. Discusión campo Frontera***

Una ventaja es no trabajar de forma continua y mantener una unidad de reserva, con ello se puede alargar el tiempo calendario de funcionamiento, sin embargo si analizamos en horas de operación es un tiempo bastante reducido para ser un sistema en paralelo.

En estas unidades se debe modificar las políticas de mantenimiento de 6 a 3 meses para la limpieza interior con químicos destinados para este fin.

Los tiempos de mantenimiento deben ser ajustados si se incrementa la capacidad de agua producida en este campo, debido a que las unidades tienen alta probabilidad de fallar antes de los tres meses de trabajo continuo.

En este caso se recomienda que todos los equipos se reduzcan su mantenimiento preventivo a la mitad del tiempo de lo establecido actualmente, cabe indicar que eso es lo que puede hacerse como política de mantenimiento, sin embargo es necesario tomar decisiones de alta gerencia para realizar mantenimiento a los tanques y que se aplique una mayor cantidad de químicos para evitar que estos sólidos se acumulen.

Se realizó el cálculo para un periodo de 2000 horas y se mejora notablemente la fiabilidad del sistema a un 30% con lo cual se establecerían los siguientes periodos de mantenimiento:

- Cámaras de Empuje cada 2 meses
- Bombas centrifugas cada 3 meses.
- Otros equipos: cada 6 meses.

Se observa que este campo presenta problemas de confiabilidad debido a su baja fiabilidad, disponibilidad y elevado número de fallas en su sistema, la estadística confirma la experiencia, debido a los múltiples fallos que han presentado las unidades en este campo, por lo cual se recomienda realizar un análisis del tratamiento químico y migrar a unidades más grandes que no puedan retener tanta cantidad de sólidos en su interior.

Al proyectar para un año de trabajo continuo se obtendría cerca de 10 fallas con lo cual el presupuesto de mantenimiento se vería seriamente afectado.



### 4.3. Resultados campo Secoya.

El contexto operativo actual del campo se basa en el plano esquemático presentado en el Figura 4-5, para el agua de formación que se produce en la estación Secoya.

Se direcciona por una de las bombas alimentadoras hasta los pozos Secoya 01 y 25 y los recientemente incorporados pozos Secoya 34 y 26, también puede enviarse agua a la estación cercana Shuara en caso de daño de una de las bombas HPS y cuando la producción de agua es superior a la capacidad de admisión de los pozos en el campo Secoya.

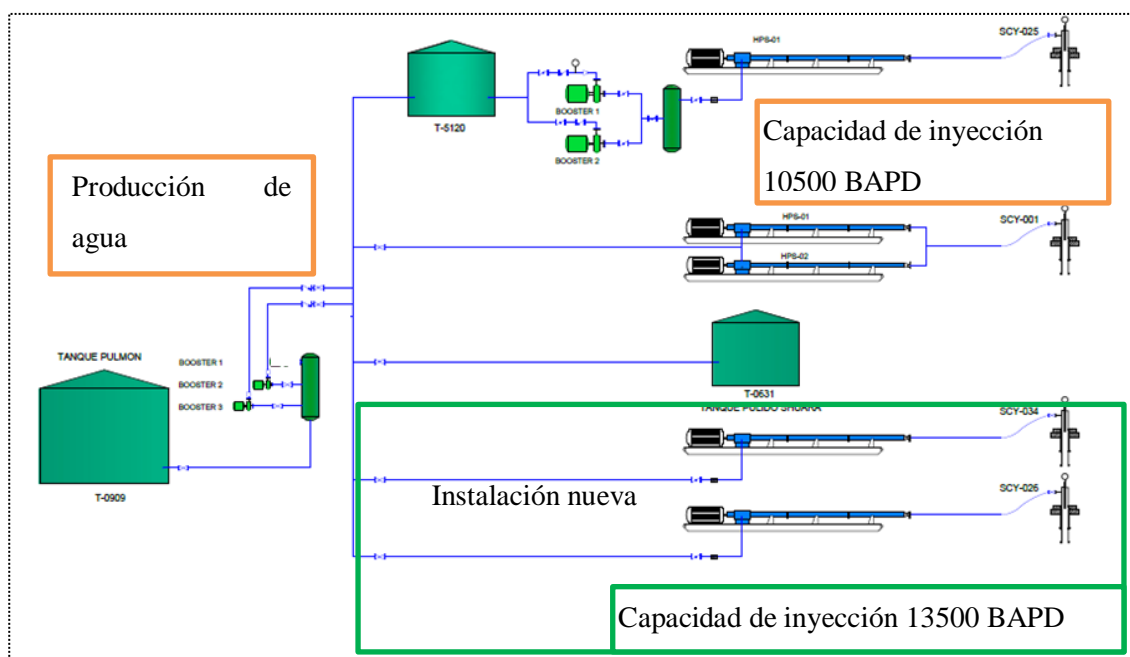


Figura 4–5: Distribución de equipos sistema de reinyección agua campo Secoya.

*Fuente: Integridad Mecánica BL57, 2015.*

Al igual que en el caso del campo Shushuqui, no se tomó en cuenta las unidades nuevas de los pozos Secoya 34 y 26 para el cálculo estadístico, sin embargo se presenta el análisis de fiabilidad del sistema de cómo mejora la incorporación de estas unidades.

En este caso se observa notoriamente que la producción de agua en el campo 24000 Barriles al día, era superior a la de admisión de los pozos originales 11000 a 15000 barriles de agua trabajando a máxima capacidad por lo que gran cantidad de agua debía trasladarse a la estación Shuara para inyectarse y poder evacuarla, actualmente no es necesario realizar esta transferencia.

Como se observa, la adición de dos unidades HPS en los pozos Secoya 34 y 26 cubrió la capacidad de re inyección de agua de todo el campo Secoya y mejoró la fiabilidad del sistema, prueba de ello es la comparación de los dos escenarios.

Se estima los cálculos para el contexto operativo anterior, es decir; solo trabajando con una sola unidad en el pozo Secoya 01 y con una la unidad en el pozo secoya 25 trabajando la mitad de tiempo esto es 12 horas diarias.

En el grafico 4-6, del análisis para 3000 horas de funcionamiento continuo, el sistema presenta un valor de 61,21% de probabilidad que el sistema no haya fallado.

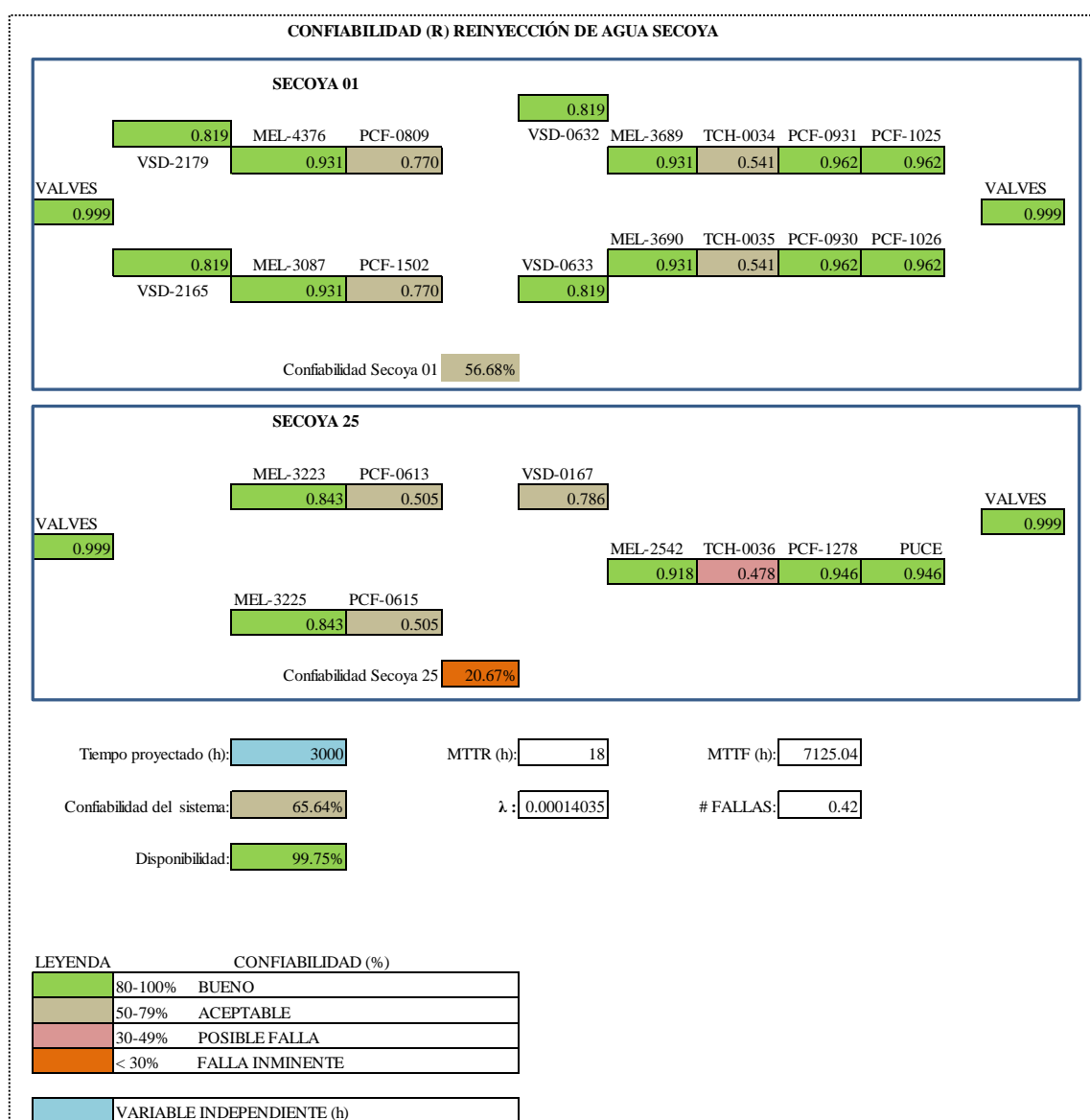


Figura 4–6: RBD reinyección Secoya, contexto operativo anterior, 3000 horas.

Realizado por: Arias, José, 2015.

Es un valor bastante alentador para un contexto operativo tan complicado, pero la explicación puede ser que las unidades inyektaban lo que sus condiciones lo permitían, es decir; en el pozo Secoya 01 existen dos unidades en configuración paralelo de reserva por lo tanto trabajan la mitad del tiempo.

En el caso de la unidad HPS del secoya 25, las exigencias no podían ser mayores por problemas adicionales de taponamiento en tubería lo que obligaba a detener la unidad la mitad del tiempo hasta llenar el tanque el cual presenta reducción de volumen por acumulación de sedimentos

#### ***4.3.1. Discusión campo Secoya***

Para estimar la fiabilidad de las nuevas unidades se lo hace en función de una falla esperada al año, y al realizar el cálculo de fiabilidad resulta 36% por cada unidad con ello se puede proyectar la fiabilidad del sistema con el nuevo contexto operativo.

Evidentemente la adición unidades en los pozos Secoya 34 y 26, mejora notablemente la fiabilidad del sistema, incrementándose a 84,11%, para 3000 horas y manteniéndose en 60.13% para un año equivalente a 8760 horas (ver Figuras 4-7, 4-8)

En base al análisis en campo del contexto operativo de estas unidades, cabe indicar que se trata de la estación con mayor producción de petróleo y en consecuencia la de mayor volumen de agua, por lo tanto se justifica cualquier inversión que mejore la fiabilidad de este sistema.

Gracias a la implementación de las unidades HPS en los pozos Secoya 34 y 26 se mejora notablemente la fiabilidad y se puede manejar de forma independiente el volumen de agua producido en este campo.

Un problema que afecta de manera significativa a la reducción de estos niveles de fiabilidad, es la cantidad de sólidos que maneja el agua de formación, lo que llega en muchos casos a taponar filtros motivo de la recomendación final para que se ejecute el mantenimiento de tanques de lavado y evacuación de sólidos, confirmado por termografía infrarroja presentada en el anexo H.

Respecto al análisis de los tiempos de mantenimiento preventivo que actualmente están establecidos, no se recomienda cambiarlos y se ratifica que la política de mantenimiento está correctamente seleccionada para estos equipos en este campo.

No se consideran fallas en el sistema, y la disponibilidad es bastante similar en los dos casos.

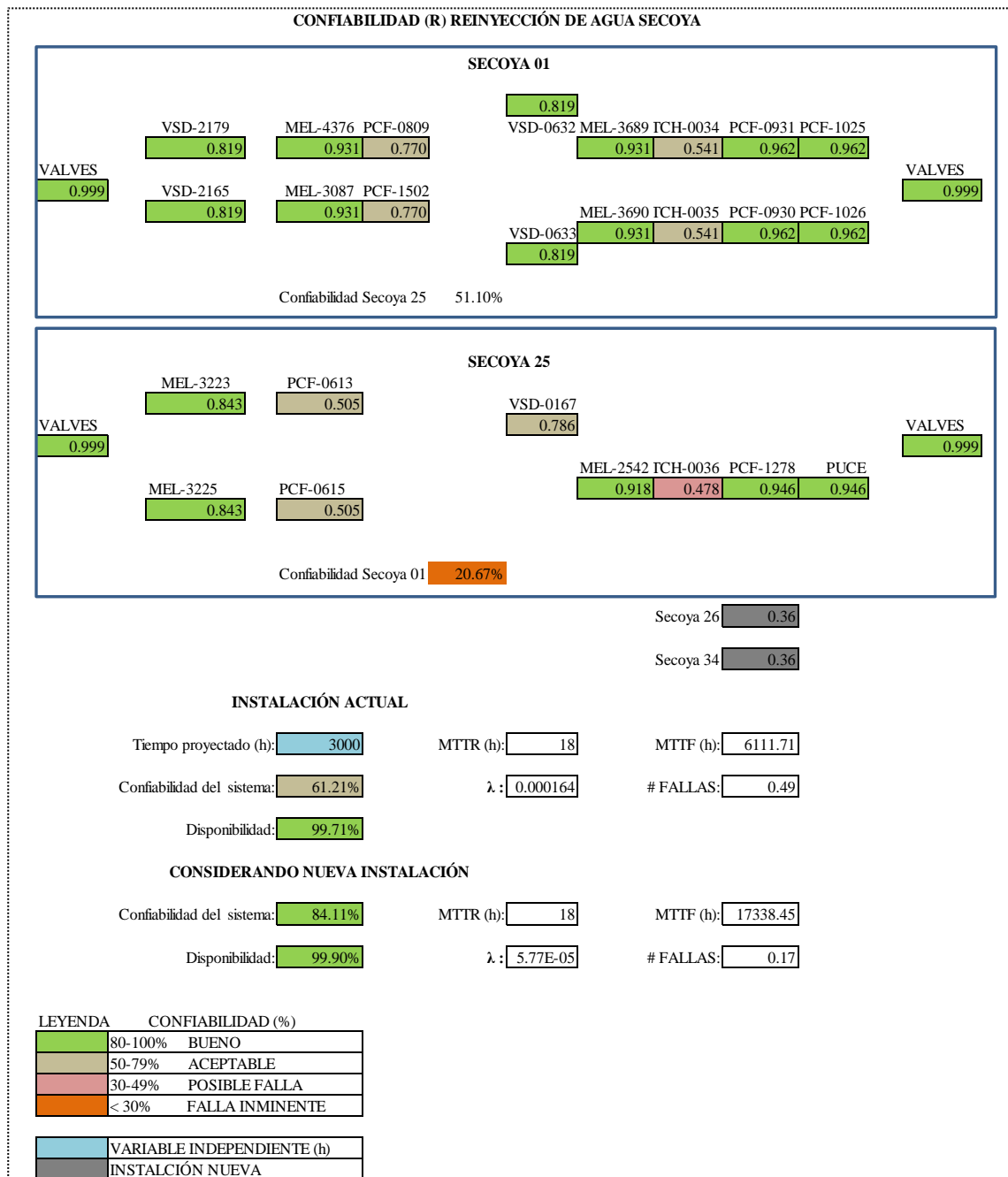


Figura 4–7: RBD reinyección Secoya, contexto operativo actual, 3000 horas

Realizado por: Arias, José, 2015.

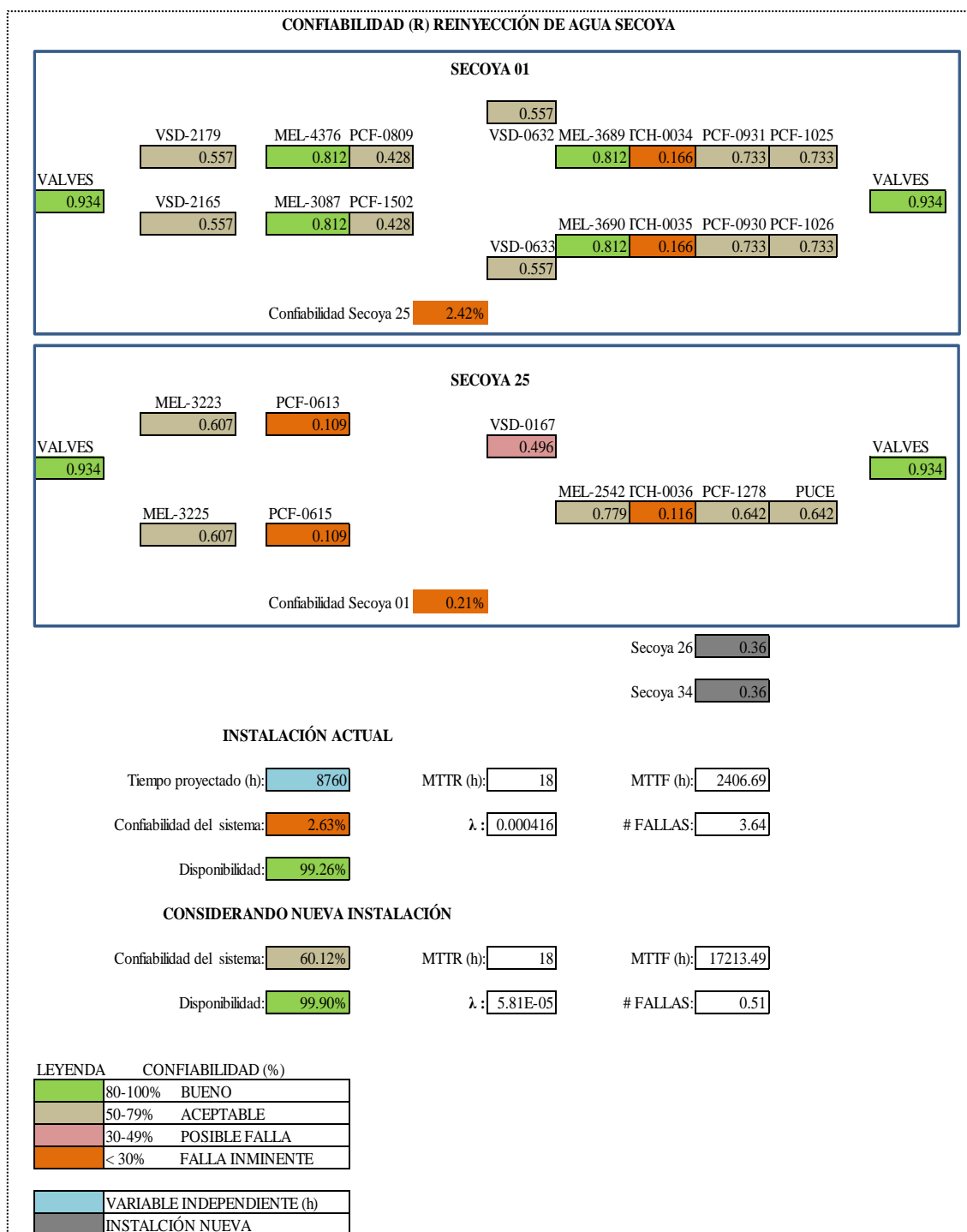


Figura 4–8: RBD reinyección Secoya, contexto operativo actual, 8760 horas.

Realizado por: Arias, José, 2015.

#### 4.4. Resultados campo Shuara.

El contexto operativo actual del campo Shuara se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-9.

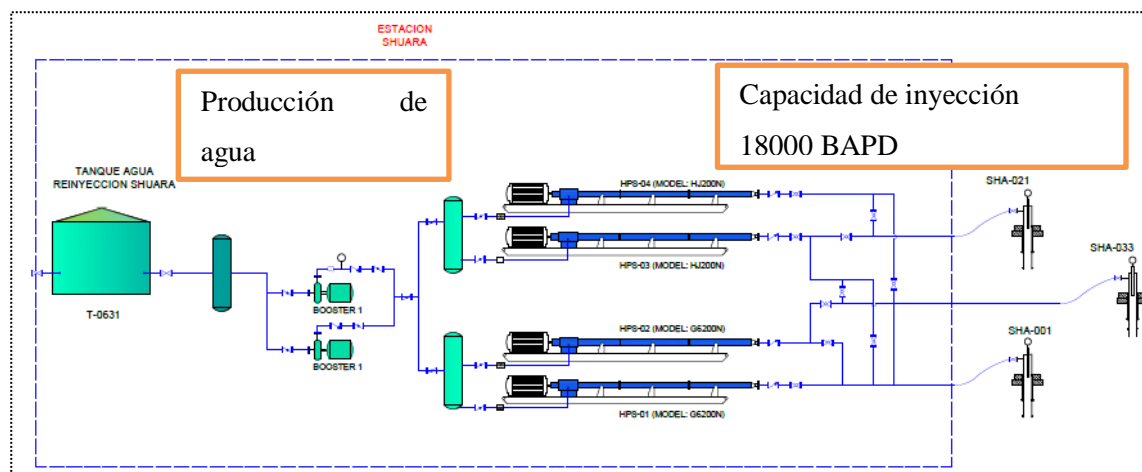


Figura 4–9: Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Shuara.

Fuente: *Integridad Mecánica BL57, 2015.*

El agua de formación que se produce en la estación Shuara e incluso puede inyectar parte de la producción de Secoya, se direcciona por una de las dos bombas alimentadoras hasta cuatro unidades HPS, se direcciona a los pozos Shuara 1,21 y 33.

Las unidades HPS son diferentes y sus limitaciones, se resumen en la tabla 4-1.

Tabla 4–1: Diferencias entre unidades HPS, campo Shuara.

UNIDAD	CUADAL	POZOS	OBSERVACIONES
HPS 1	6000 BPD	SHA 1, 21	Arrancador suave no permite regular flujo.
HPS 2	4000 BPD	SHA 21,33	Variador de frecuencia no permite ingresar en paralelo con unidad HPS 1
HPS 3	8000 BPD	SHA 1,21,33	Deben trabajar en paralelo para no tener problemas de sobre flujo, trabajando solas solo inyectan al pozo Shuara 1
HPS 4	8000 BPD	SHA 1,21,33	

Fuente: *Arias, José, 2015, basado en análisis de contexto operativo, campo Shuara.*

Cuando se requiere que tres unidades trabajen se inyecta principalmente al pozo Shuara 01 que tiene admisión sobre los 10.000 barriles por día, debido a la capacidad de las unidades HPS no se puede conseguir este flujo con ninguna de la unidades HPS, por lo que se requiere colocar en paralelo a las unidades 3 y 4 que son de las mismas características y disponen variador de frecuencia.

La producción de agua en el campo llega a 11000 barriles, anteriormente se inyectaba 5000 barriles adicionales del campo Secoya, con lo cual tres de las unidades se mantenían en operación.

Actualmente las condiciones han cambiado y normalmente solo dos unidades trabajan, por lo que se realizó el análisis para el contexto operativo actual, es decir dos unidades en operación y dos en reserva.

En el Figura 4-10 se presenta el cálculo para 3000 horas de funcionamiento donde se obtiene un 63.35% de fiabilidad de todo el sistema.

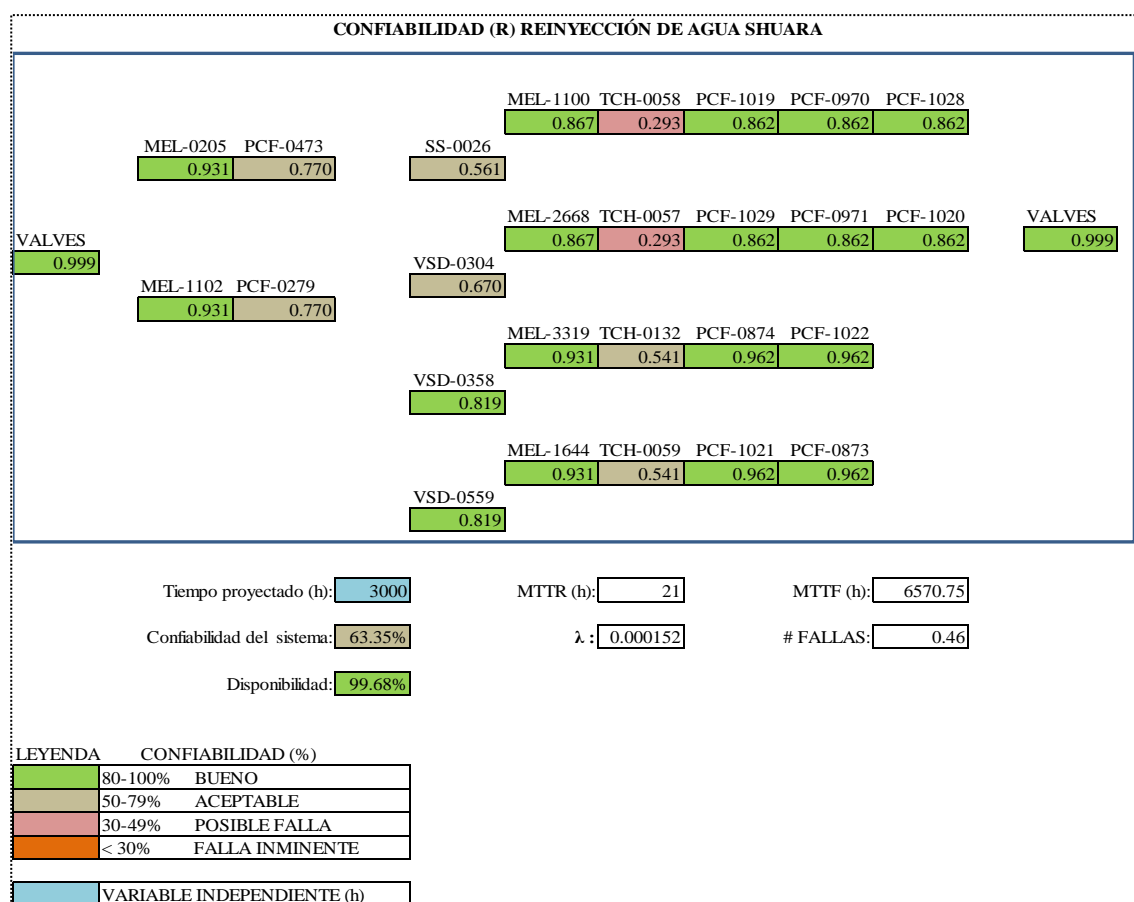


Figura 4–10: RBD sistema de reinyección agua, campo Shuara, 3000 horas.

Realizado por: Arias, José, 2015.

#### 4.4.1. Discusión campo Shuara

El cambio de contexto aun no permite cambiar las políticas de mantenimiento establecido para este campo, el reducido valor de fiabilidad en las cámaras de empuje de las unidades HPS 1 y 2 afectan la fiabilidad del sistema, por lo que será recomendable disponer de recursos económicos para afrontar tres fallas mayores al año (ver Figura 4-11)

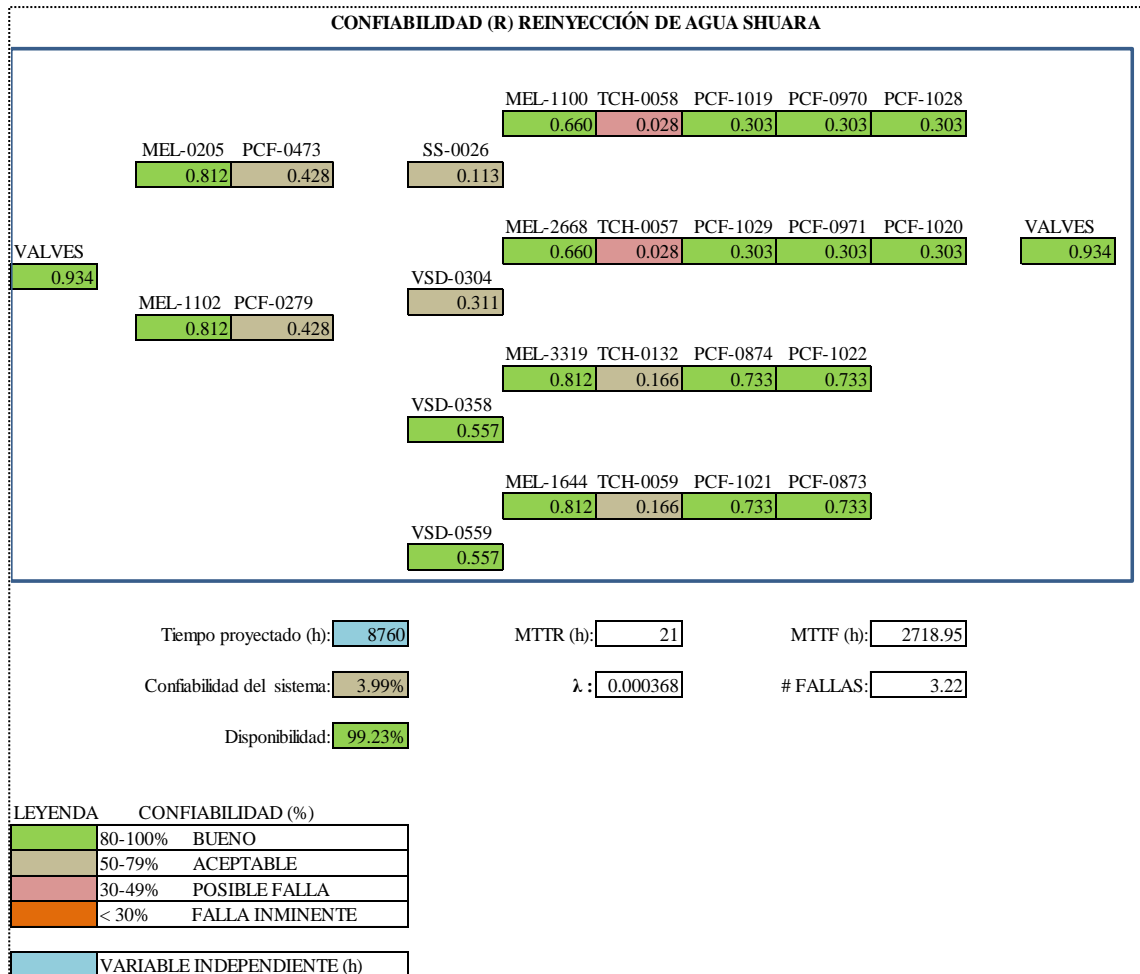


Figura 4-11: RBD sistema de reinyección agua, campo Shuara, 8760 horas.

Realizado por: Arias, José, 2015.

Gracias a la implementación de las unidades HPS en los pozos Secoya 34 y 26 se mejoró indirectamente la fiabilidad en el campo Shuara y con cuatro unidades puede manejar fácilmente el agua producida en el campo Shuara.



Sin embargo condiciones que no dependen del departamento de mantenimiento mantienen la posibilidad de reducir la fiabilidad del sistema, pues la cantidad de sedimento acumulado en los tanques de agua y tuberías del proceso puede provocar daños inesperados en las unidades HPS.

Este factor está plenamente identificado mediante termografía infrarroja realizada al tanque de agua, el nivel de sedimento se ha incrementado progresivamente, anexo I, se espera que al habilitar el nuevo tanque y no recibir agua del campo Secoya se solucione este problema.

#### 4.5. Resultados campo Shushuqui.

El contexto operativo actual del campo se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-12.

El agua de formación pasa a través de una de las tres unidades Booster y puede direccionarse a tres destinos: la isla Shushuqui 03 y los pozos Pacayacu 02 y Shuara 27 estos dos últimos habilitados recientemente.

Como se observa, la adición de dos unidades HPS en los pozos Pacayacu 02 y Shuara 27 duplicó la capacidad de inyección del sistema, el cual estaba al límite antes de la instalación de estas unidades.

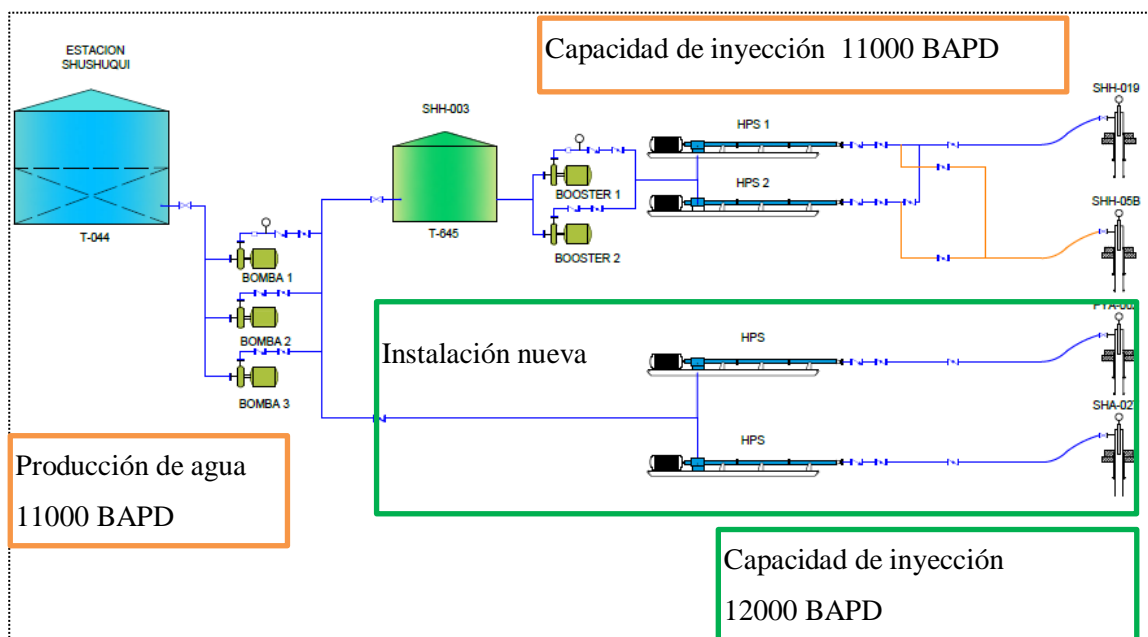


Figura 4–12: Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Shushuqui.

Fuente: *Integridad Mecánica BL57, 2015.*

Se realizó los cálculos para el contexto operativo anterior, es decir; solo trabajando con las unidades de la isla Shushuqui 03 de donde se puede direccionar agua a los pozos Shushuqui 19 y 05, juntos logran una capacidad de inyección de 11000 barriles de agua por día que se consigue mediante cualquiera de las unidades HPS instaladas trabajando al “Máximo para Oil&Gas” de su capacidad.

Al realizar el cálculo para 3000 horas de funcionamiento continuo, el sistema presenta un valor de 25,6% de probabilidad que el sistema no haya fallado (ver Figura 4-13).

Es un valor alentador para un contexto operativo tan complicado, pero la explicación puede ser que el agua de este campo es relativamente limpia y libre de sólidos, lo cual evita el deterioro prematuro y taponamiento de las unidades.

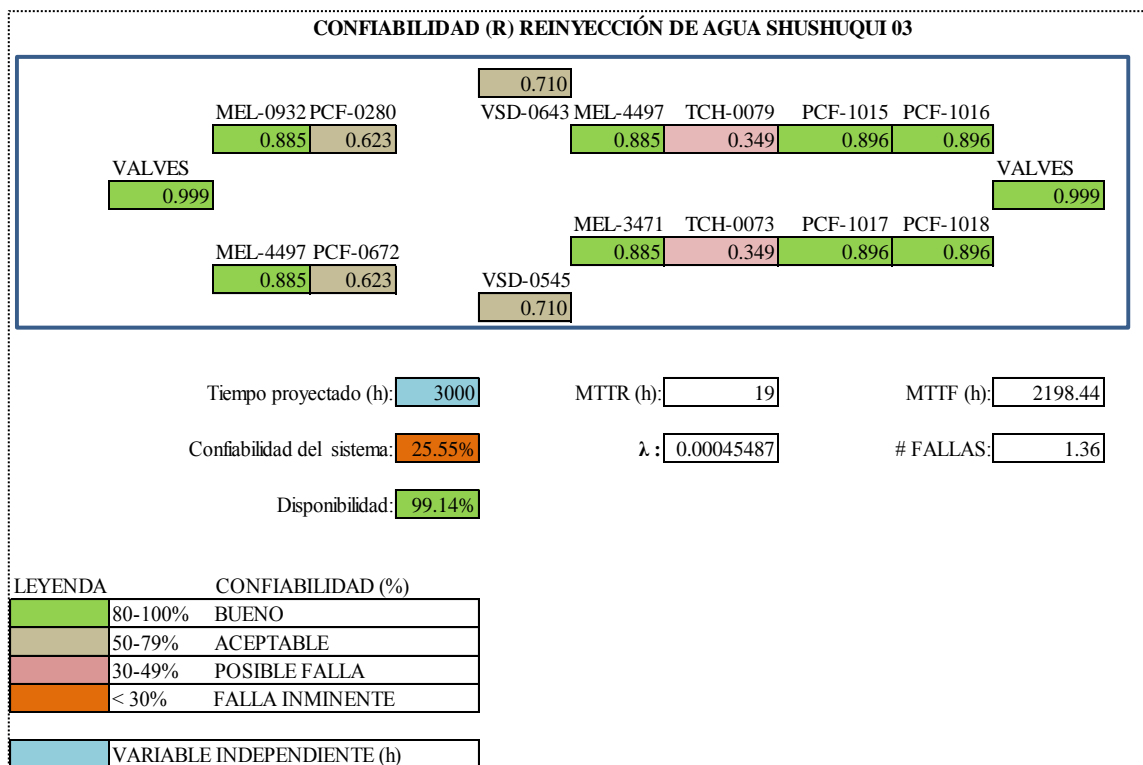


Figura 4–13: RBD reinyección Shushuqui 03, contexto operativo anterior, 3000 horas.

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

No se consideró las unidades HPS de la instalación reciente en el análisis de estadístico porque no existen registros de falla y el tiempo de instalación es corto (menos de 6 meses), sin que esto impida realizar una estimación asumiendo datos similares a las unidades de Shushuqui 03 para tener una idea de cómo mejoró la fiabilidad del sistema la inclusión de estas nuevas unidades.

#### 4.5.1. Discusión campo Shushuqui

Evidentemente la adición de dos unidades en los pozos Pacayacu 02 y Shuara 27, duplica la fiabilidad del sistema, y se incrementa a 51,5%, en 3000 horas de funcionamiento, sin considerar que son unidades nuevas, pero producto de los análisis en campo para el contexto operativo de estas unidades (ver Figura 4-14)

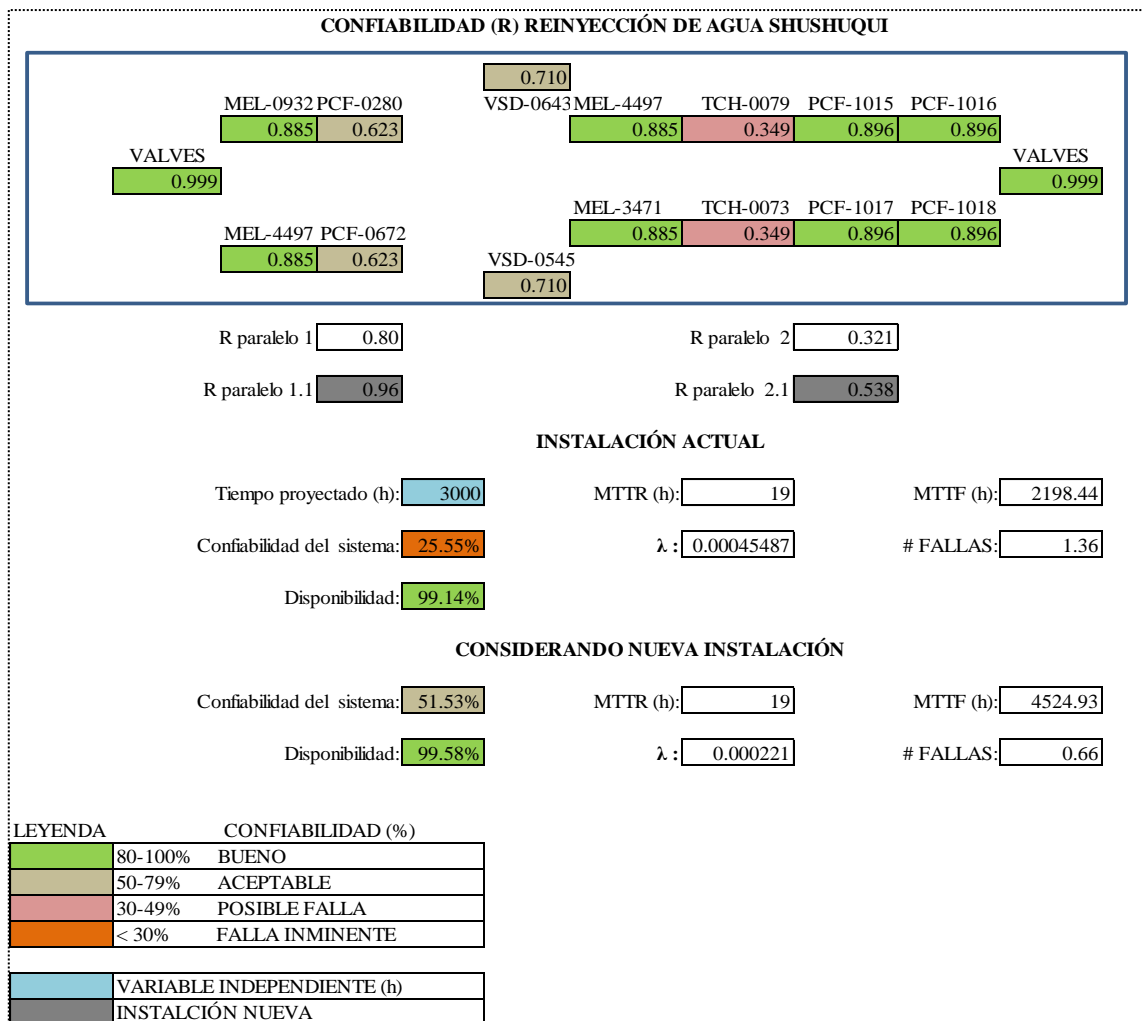


Figura 4–14: RBD reinyección Shushuqui, contexto operativo actual, 3000 horas

Realizado por: Arias, José, 2015.

Se verificó que la unidad HPS del pozo Pacayacu 02 trabaja alejada del punto óptimo de operación lo cual puede provocar deterioro prematuro y que el análisis presentado no se cumpla en totalidad.

Con respecto a modificar los tiempos de mantenimiento preventivo actualmente no se recomienda cambiarlos y se ratifica la política de mantenimiento para estos equipos en este campo.

#### 4.6. Resultados campo Pichincha.

El contexto operativo del campo se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-15, el agua de formación pasa a través de una de las unidades booster y HPS capacidad 12.000 barriles por día, a 60 Hz, debido a restricción en la admisión de los pozos PHH 01 y PHH 11 las unidades HPS trabajan a 52 Hz, cualquiera de las unidades puede direccionarse a uno de estos pozos.

Normalmente dos unidades están en funcionamiento entre 18 y 24 horas al día y la tercera unidad en reserva.

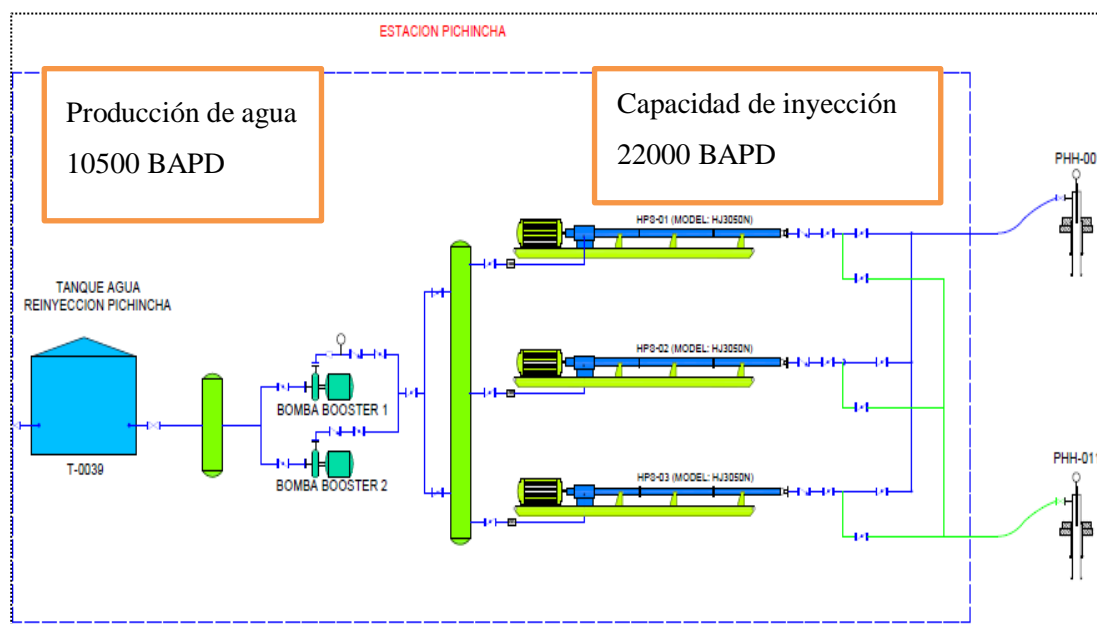


Figura 4–15: Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Pichincha.

Fuente: *Integridad Mecánica BL57, 2015.*

En la tabla 4-2 se presenta las limitaciones de las unidades HPS, se identifica que las unidades trabajan a baja frecuencia.

Tabla 4–2: Diferencias entre unidades HPS, campo Pichincha.

UNIDAD	CUADAL	POZOS	OBSERVACIONES
HPS 1	10000 BPD	PHH 1	No se pueden poner en paralelo por condiciones de diferente admisión en pozos.
HPS 2	52 HZ		
HPS 3	12000 BDP 52 HZ	PHH 11	

Fuente: *Arias, José, 2015, basado en análisis de contexto operativo, campo Pichincha.*

En la Figura 4-16 muestra el cálculo realizado para 3000 horas de funcionamiento continuo, con lo cual se obtiene un valor de 63,05% de probabilidad que el sistema no haya fallado lo confirma el número de fallas que no llega a uno.

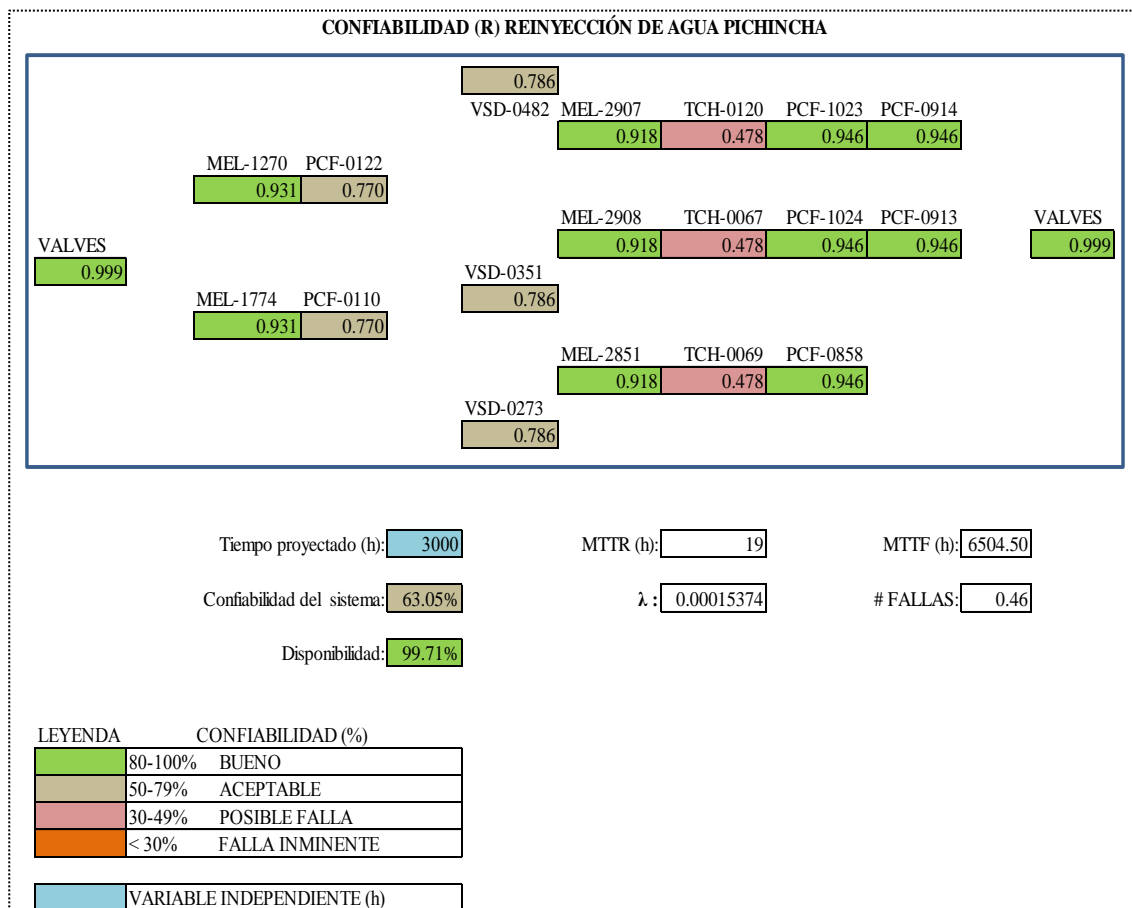


Figura 4-16: RBD sistema de reinyección agua, campo Pichincha, 3000 horas.

Realizado por: Arias, José, 2015.

#### 4.6.1. Discusión campo Pichincha.

La ventaja de mantener una unidad de reserva continuamente mejora notablemente la fiabilidad del sistema, sin embargo por las condiciones de alta concentración de sólidos en el tanque de agua de formación, como se observa en el anexo J, ratifica la política de mantenimiento preventivo para estas unidades.

Se espera la finalización del proyecto de una planta de tratamiento de agua en donde se eliminen gran cantidad de sólidos y el agua mejore las condiciones.

Otro aspecto positivo es que al disponer de modelo de bomba en 6 pulgadas y trabajar a baja carga por el hecho de disponer de variador de frecuencia no se ha tenido impacto mayores en taponamientos de las unidades.

#### 4.7. Resultados campo Tapi.

El contexto operativo del campo se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-17, el agua de formación pasa a través de las unidades Booster y HPS capacidad 8000 barriles por día cada una, se reinyecta al único pozo Tapi 01, este permite una admisión máxima de 7000 barriles al día, existen dos unidades en paralelo para garantizar la inyección en caso de recibir agua desde Frontera.

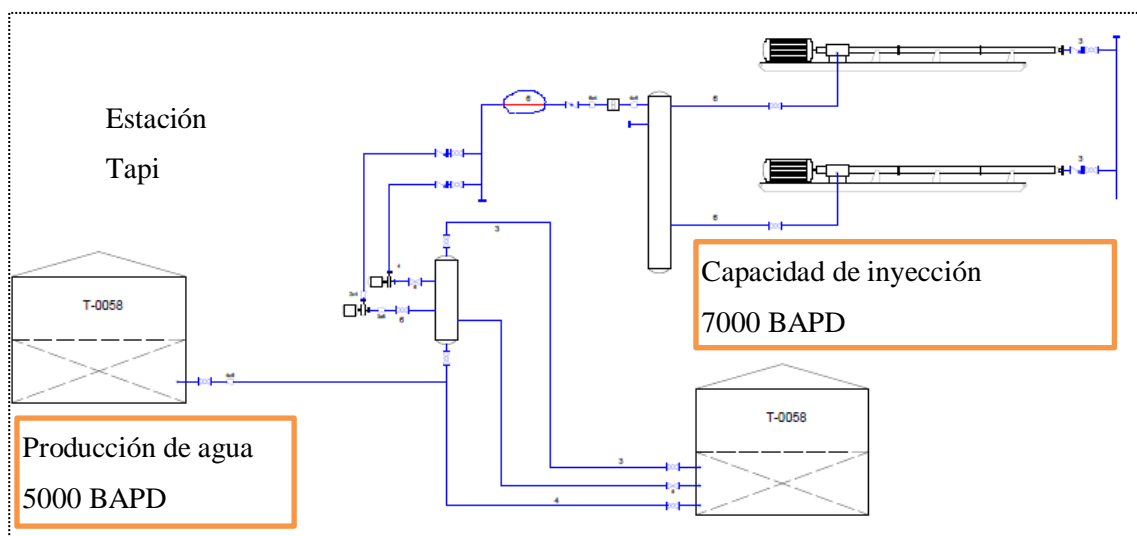


Figura 4-17: Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Tapi.

Fuente: *Integridad Mecánica BL57, 2015.*

En el Figura 4-18 se muestra el cálculo realizado para 3000 horas de funcionamiento continuo, con lo cual se obtiene un valor de 17,6% de probabilidad que el sistema no haya fallado y se presentan cerca de dos fallas, afectando la disponibilidad intrínseca a niveles inferiores a 99%.

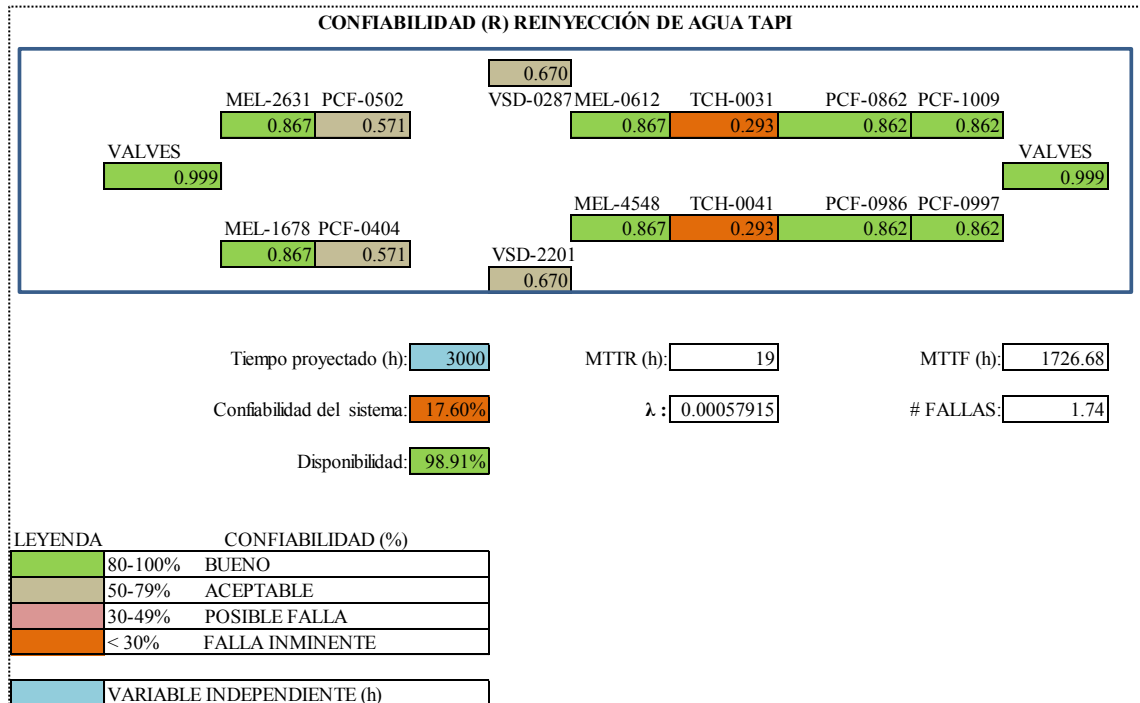


Figura 4–18: RBD sistema de reinyección agua, campo Tapi, 3000 horas.

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

Se identificó que existían problemas con la válvula anti retorno, esto provocó daño en los sellos mecánicos de la unidades HPS por más de una ocasión, el problema fue identificado y solucionado con el cambio de válvulas.

#### 4.7.1. Discusión campo Tapi.

Al no trabajar de forma continua y mantener una unidad de reserva se puede alargar el tiempo calendario de funcionamiento de las unidades, además al realizar un análisis en horas de operación es un tiempo relativamente corto para un sistema en paralelo, sin embargo la fiabilidad del sistema de reinyección en esta estación es aceptable

No se recomienda reducir los tiempos de mantenimiento preventivo mientras no cambien las condiciones de operación de los equipos, pues en campo se ha verificado que las unidades

trabajan dentro de parámetros recomendados basados en la curva de operación además todas las unidades no presentan fugas ni problemas de vibración.

De igual forma que las otras estaciones se observa que el equipo que presenta menor fiabilidad es la cámara de empuje.

#### 4.8. Resultados campo Tetete.

El contexto operativo del campo se basa en el plano esquemático presentado en la Figura 4-19.

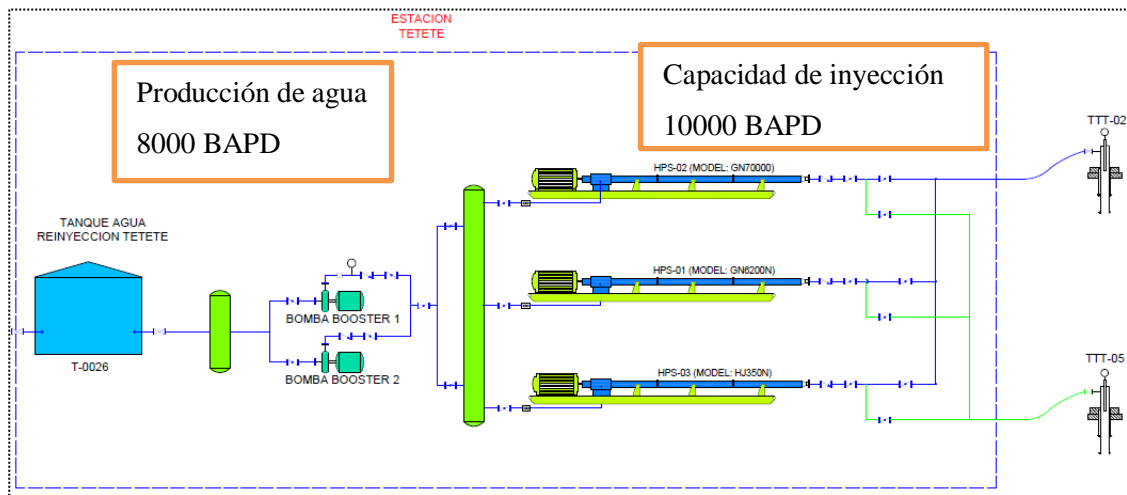


Figura 4–19: Distribución de equipos sistema de reinyección agua, campo Tetete.

*Fuente: Integridad Mecánica BL57, 2015.*

El agua de formación pasa a través de una de las bombas booster, en cuanto a las unidades HPS la forma de operación es dinámica debido a que todas las unidades son de distintas características y capacidades, tal como se muestra en la tabla 4-3, esto se produjo por haber sido instalado en función del cambio de condiciones e incremento del agua de formación.

Normalmente la unidad HPS 3 trabaja la mayor parte del tiempo entre 18 a 20 horas la ventaja es que los dos pozos se pueden direccionar en paralelo, la unidad HPS 1 y 2 permanecen en reserva.

Se alterna al día siguiente mientras las dos unidades están direccionadas a los pozos individualmente y la unidad HPS 3 está en reserva.



Tabla 4–3: Diferencias entre unidades HPS, campo Tetete.

UNIDAD	CUADAL	POZOS	OBSERVACIONES
HPS 1	5000 BPD	2,5	Arrancador de baja tensión, no permite variar velocidad ni flujo. No dispone de repuestos.
HPS 2	7500 BPD	2,5	Arrancador de baja tensión, no permite variar velocidad ni flujo. No dispone de repuestos.
HPS 3	10000 BPD	2,5	Variador permite regular flujo.

Realizado por: Arias, José, 2015.

El Figura 4-20, evidencia el cálculo realizado para 3000 horas de funcionamiento continuo, con lo cual se obtiene un valor de 56,00% de probabilidad que el sistema no haya fallado.

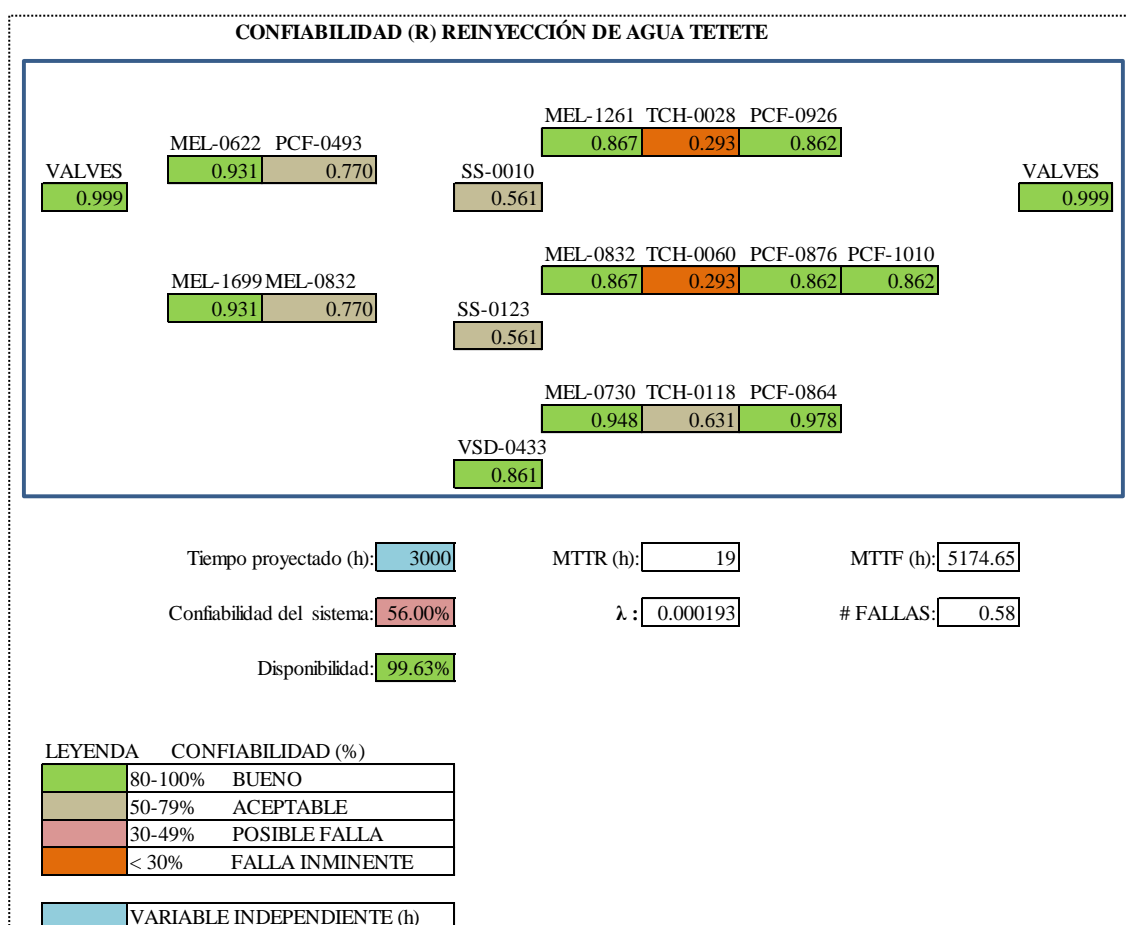


Figura 4–20: RBD sistema de reinyección agua Tetete.

Realizado por: Arias, José, 2015.

#### 4.8.1. *Discusión campo Tetete.*

La fiabilidad presentada es bastante alentadora, pero se detectó problemas en la hermeticidad de las válvulas como se indica en el anexo K, la no disponibilidad en bodega de este tipo de válvulas ha cambiado el contexto operativo y la unidad HPS 3 trabaja la mayor parte del tiempo diario debido a que por sus diferencias en características y al no disponer de variador de frecuencia no se puede colocar en paralelo las unidades HPS 1y2.

Mientras no se realice el cambio de válvulas y la unidad HPS 3 se mantenga en operación continua, se corre el riesgo de no disponer de unidades de reserva para cubrir la reinyección de agua en este campo y es posible que se requiera incluso apagar pozos.

Los periodos de mantenimiento para los equipos rotativos no deben ser modificados, pero las limpiezas con agentes químicos deben reducirse a periodos trimestrales para garantizar que las bombas no se taponen y sufran daños mayores.

#### 4.9. **Análisis con software Relex 2009 versión evaluación.**

En el caso de requerir evaluar a sistemas más complejos se puede utilizar varios software específicos para realizar estimaciones RAMs (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).

En el anexo L, se presenta el análisis completo del RDB (diagrama de bloques de fiabilidad) con el software Relex 2009 versión evaluación para el campo Tetete, en el Figura 4-21 se observan resultados similares de fiabilidad, disponibilidad, número de fallas, tiempo medio entre fallas para el mismo intervalo de tiempo seleccionado 3000 horas..

<b>Relex</b>		<b>OpSim Calculation Results</b>	
<b>File Name:</b>	TETETE RYA.rfp	<b>Results at Time (hrs):</b>	3000
<b>Identifier:</b>	RBD TETETE	<b>Reliability:</b>	0.572000
<b>Calc Method:</b>	Monte Carlo Simulation	<b>Availability:</b>	0.997000
<b>MTBF (hrs):</b>		<b>No. of Failures:</b>	0.50
<b>MTTF (hrs):</b>	3,740	<b>Total Downtime:</b>	4.82

Figura 4–21: Resultados simulación software Relex 2009, reinyección agua Tetete.

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

#### 4.10. Análisis con datos OREDA 2009.

Galván, et al,( 2014, p.19) explica que “En ciertos casos es conveniente la combinación de parámetros estimados por diferentes metodologías a fin de disponer de mejores estimaciones. Por ejemplo, imagínese que se disponen datos de planta para el cálculo de la tasa de riesgo de un componente, pero no se quiere desechar la información provista por una determinada base de datos. En este sentido, OREDA proporciona una expresión que permite la combinación de datos externos con los proporcionados por ellos, esta es:”

#### Ecuación 4–1

$$\hat{\lambda} = \frac{\lambda^2 + \lambda o^2 \left( \frac{\lambda}{\lambda o} + \frac{[\lambda - \lambda o]}{SDo} \right)^2}{\lambda + \lambda o \left( \frac{\lambda}{\lambda o} + \frac{[\lambda - \lambda o]}{SDo} \right)^2}$$

Dónde:

$\hat{\lambda}$  Estimación mejorada.

$\lambda$  Estimación externa de la tasa de riesgo.

$\lambda o$  Tasa de fallo aportada por OREDA.

$SDo$  Desviación típica del valor de la tasa de riesgo aportada por OREDA.

Se presenta un ejemplo de cálculo y comprobación para la unidad HPS la cual según OEDA 2009, determina que es toda la bomba incluida la cámara de empuje con todos los posibles modos de falla.

Tabla 4–4: Base de datos ORDEDA, bombas inyección de agua

OREDA-2009		169	Volume 1-Topside Equipment											
Taxonomía n° 1.3.1.14			Item.											
			Machinery											
			Pumps											
			Centrifugal, Water inyection											
Population 30	Instalations 5	Aggregated time in service (10 <sup>6</sup> hours)								N° of demands				
		Tiempo Calendario* 0.7287				Tiempo Operacional† 0.5771								
Modo de falla			N° of failures	Failure rate (10 <sup>6</sup> horas)						Active rep. hrs.		Manhours		
				Lower	Mean	Upper	SD	n/τ	Mean	Max	Mean	Max		
Critical			63*	0.51	136,19	520,75	191,86	86,16	19	84	27	108		
			63†	0.64	162,94	624,19	229,936	109,17						

Fuente: OREDA 2009, p.169, Realizado por: Arias, José, 2015.

$$MTTF = 1/136,19^{-06} = 7342h$$

Del resultado obtenido para los datos del contexto operativo en el bloque 57 Libertador al colocar en serie bomba y cámara de empuje se obtiene la suma de tasas de fallo.

Tabla 4–5: Estimación MTTF, bombas inyección de agua

EQUIPO	MTTF (días)	MTTF (h)	$\lambda$ REAL (h)	$t_{MTF} = \frac{1}{\lambda}$
Cámara de empuje	407	9768	0,000102375	
Bomba HPS	1182	28368	0.000035251	
RESULTADO DE SUMA DE TASAS DE FALLA			0.000137626	7266 h

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

$\hat{\lambda}$  Estimación mejorada.  $0.000136904$  MTTF=  $1/0.000136904 = 7304h$

Con lo que se puede concluir que la estimación del cálculo está hecha para el tiempo calendario, y una vez que se disponga de datos reportados según las recomendaciones del anexo E, la estimación por modos de falla permitirán identificar de manera adecuada el problema y así poder mitigarlo.

#### 4.11. Comprobación de hipótesis en base a T Student.

Esta técnica paramétrica se utiliza para comparar la media de una variable independiente cuantitativa entre dos grupos de valores de muestras relacionadas, para comparar si mejora el análisis de fiabilidad al aplicar el modelo planteado o mantenerlo de forma empírica, es decir al asumir el promedio de los tiempos hasta el fallo como el tiempo medio entre fallas.

**Hipótesis alternativa:** Existen diferencias significativas de calcular la tasa de fallos de forma empírica y con análisis de datos, comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%

$$H_1 X_1 \neq X_2$$

**Hipótesis Nula:** No existen diferencias significativas de calcular la tasa de fallos de forma empírica y con análisis de datos, comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%

$$H_0 X_1 = X_2$$

Dónde:

$X_1 = \lambda$  empírico (h) Variable 1

$X_2 = \lambda$  de análisis (h) Variable 2

Se selecciona la cámara de empuje (TCH), por ser el equipo que presenta menor fiabilidad, tomando en cuenta que al mejorar la estimación de este equipo, se mejora considerablemente la probabilidad de considerar el presupuesto de anual de mantenimiento.

En el gráfico 4-22 se presenta la proyección exponencial y se obtienen los datos con los cuales se muestra la tendencia de la probabilidad de supervivencia para la cámara de empuje en un año.

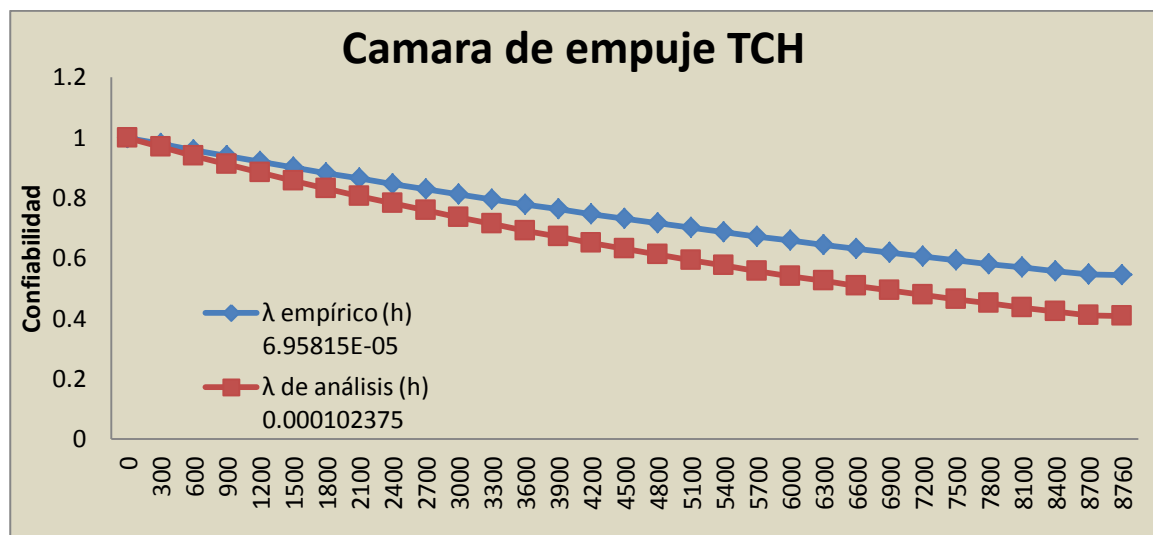


Figura 4–22: Resultados estimación de fiabilidad lamda ( $\lambda$ ) empírico y con análisis.

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

En la tabla 4-6 se presentan los resultados de aplicar el cálculo utilizando la función análisis de datos de Microsoft Excel.

Tabla 4–6: Resultados prueba de hipótesis T student muestras relacionadas

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	$\lambda$ empírico (h)Variable 1	$\lambda$ de análisis (h) Variable 2
Media	0.744265555	0.65524152
Varianza	0.019676139	0.03278161
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0.999269064	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	12.01964237	
P(T<=t) una cola	2.67834E-13	
Valor crítico de t (una cola)	1.697260887	
P(T<=t) dos colas	5.35667E-13	
Valor crítico de t (dos colas)	2.042272456	

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

Las consideraciones que se encontraron para determinar que la hipótesis alternativa es correcta son que:

- 1.- P valor dos colas  $5.3 \times 10^{-13}$  es menor que 0.05 (valor de probabilidad)
- 2.- El estadístico t 12.01 es mayor que 2,04 (valor crítico de dos colas)

Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa al demostrar que “Existen diferencias significativas de calcular la tasa de fallos de forma empírica y con análisis de datos comparando las medias de dos grupos con un nivel de confianza de 95%”

## CONCLUSIONES.

Se confirma la hipótesis al demostrar que si los datos están ingresados correctamente al sistema, ya no se necesitara hacer tanto análisis de las ordenes de trabajo una por una y el cálculo estadístico será confiable, muestra de ello es la similitud que presenta con la base de datos internacional OREDA 2009 para el equipo “bomba para inyección de agua” de la clase PUCWEI (pump centrifugal water injection).

Actualmente se pudo realizar análisis de confiabilidad de todo el sistema de reinyección de agua del bloque 57 Libertador, pero la interpretación requiere de varios filtros para eliminar las órdenes de trabajo que no aportan valor a los datos de fiabilidad.

El crear un modelo de confiabilidad basado en el contexto operativo permitió identificar las debilidades y fortalezas para lograr la mejora continua (anexo N), entendiendo por debilidades a la falta de capacitación del personal que se debe solventar con la aplicación del modelo planteado.

Una debilidad es que el departamento de mantenimiento no tenga mayor injerencia sobre la acumulación de sedimentos en los tanques, pero si siente la afectación al consumir el presupuesto en reparaciones de elevado costo, gracias a este estudio se puede recomendar que se requiere reducir los periodos de limpieza para proteger la integridad de las bombas HPS.

Una fortaleza muy grande es la visión de la gerencia de mantenimiento en convertir al departamento en un referente a nivel de la empresa y se puede lograr gracias a la mejor interpretación del software Máximo para Oil & Gas, de donde se puede extraer un beneficio mucho mayor.

El estandarizar las fallas funcionales de los equipos en base al anexo E, mejora notablemente la calidad de datos ingresados al sistema, adicional a ello al estandarizar el campo descripción de la orden de trabajo genera una manera rápida, sin mayor análisis una visión clara de los problemas más comunes y repetitivos, que estarán disponibles para consulta del personal de mantenimiento en general.

Al comparar los resultados de parámetros básicos RAMs (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad) obtenidos del software Relx 2009 versión evaluación y la hoja de cálculo

realizada en Microsoft Excel y verificar su similitud se obtiene la suficiente confianza en utilizar el modelo propuesto.

La ventaja de utilizar la hoja de cálculo es que permite identificar el equipo que presente la menor fiabilidad y se puede ajustar con mayor exactitud los tiempos para mantenimiento preventivo, e incluso establecer dentro del presupuesto anual un valor para reparaciones, además se puede buscar metodologías para anticiparse al fallo como análisis de vibraciones, análisis de aceite y termografía con un intervalo P-F más aproximado.

Las válvulas se consideran con un alto grado de importancia dentro del sistema de reinyección de agua, pues por las características del fluido representa una alta probabilidad de daño en sellos mecánicos y empaques de la cámara de empuje en las unidades HPS, debido a taponamientos, falla en el mecanismo de apertura y cierre, corrosión, etc.

Este archivo será de utilidad para analizar otras configuraciones y actualizar tasas de falla cuando se hayan obtenido mayor cantidad de datos de los equipos de forma individual y finalmente no se requiera utilizar la población por tipo de equipos, en ese instante es cuando realmente se aplicará en su totalidad el modelo de confiabilidad basado en el contexto operativo, pero para ello se requieren de varios años de aplicación del anexo E



## RECOMENDACIONES

Se requiere la aplicación de un análisis de los modos y efectos de falla (FMECA) basado en la norma EN 60812:2006, para determinar técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en los equipos componentes del sistema de reinyección de agua.

En el anexo M se presenta un análisis FMECA de la unidad HPS el cual esta acoplado a los códigos de fallas basado en la norma ISO 14224:2006 esto servirá de apoyo para estandarizar criterios divididos en ciertas situaciones en las que puedan asemejarse a más de un código de falla.

Evaluar un proyecto piloto para limpieza de sedimentos en línea, de ello no dispone mayor información pero se sabe de la existencia, pero no corresponde al departamento de mantenimiento (ver anexo O)

Establecer indicadores de gestión (KPI), para el sistema de reinyección de agua los cuales aportan valor para tomar acciones entre ellos se recomienda:

Disponibilidad operacional=  $\text{Tiempo de operación} / \text{Tiempo de carga}$  no menor a 98% en un año.

Disponibilidad intrínseca=  $\text{Tiempo medio hasta la falla} / \text{tiempo medio hasta la falla} + \text{tiempo entre reparaciones}$  no sea inferior a 99% en un año.

Rendimiento Operativo =  $\text{Tiempo de operación neto} / \text{Tiempo de operación}$

Calidad =  $\text{Tiempo de operación de valor} / \text{Tiempo de operación neto}$

OEE = Disponibilidad x Rendimiento Operativo x Calidad

Mantener capacitaciones y revisiones semanales al personal técnico sobre temas de interés para reforzar la estandarización de datos y evidenciar los beneficios obtenidos según cronograma.

Tabla 4–7: Plan de capacitación para personal técnico del Bloque 57 Libertador.

**Plan de capacitación para departamento de Mantenimiento B57 Libertador año 2016**

ITEM	Detalle	HORAS	Personal	23-04-16	24-04-16	30-04-16	01-05-16	21-05-16	22-05-16	28-05-16	29-05-16
1	Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas BOMBAS BOOSTER, HPS.	2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)	GRUPO 1							
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)					GRUPO 2			
2	Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas CÁMARAS DE EMPUJE, VÁLVULAS.	2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)		GRUPO1						
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (MECÁNICOS)						GRUPO 2		
3	Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas MOTORES ELÉCTRICOS, TRANSFORMADORES.	2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)			GRUPO 1					
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)							GRUPO 2	
4	Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas ARRANCADORES SUAVES, VARIADORES DE FRECUENCIA,	2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)				GRUPO 1				
		2	TECNICOS, SUPERVISOR (ELÉCTRICOS)								GRUPO 2

**Nota:** requiere revisión y refuerzo de la capacitación después de tres meses, retomando este cronograma como base, adicionar temas más avanzados como FMECA ACR.

*Realizado por: Arias, José, 2016.*

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGUSTIN, L.** Definición de Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad

[http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento\\_arhivos/Confiable%20o%20Fiable.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_arhivos/Confiable%20o%20Fiable.pdf)

2015-08-15

**CAÑA, Á.** (2006). Análisis RAM de la planta de inyección de agua RESOR de petróleos de Venezuela S.A. TESIS. Universidad Simón Bolívar. Decanato de estudios de Postgrado. Especialización en Confiabilidad de sistemas industriales. Caracas - Venezuela. p.33.

2015 - 10 - 05.

**COLOMA, P.** (2006). Análisis técnico- comparativo los sistemas de bombeo de inyección BHT y a las unidades (bombas) de desplazamiento positivo BDP, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA. ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS. Tesis de Grado. Quito, Ecuador.

2015-08-16

**ECUADOR. SECRETARIA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR.** (2015). Informe de rendición de cuentas 2014. PPXX

<http://www.hidrocarburos.gob.ec>

2015-06-18

**ESPAÑA. NT. UNE-EN 13306.** (2002). Terminología del mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Madrid, España. pp. 8-19.

**GALVÁN, B., CARRIÓN, A., & MARTÍNEZ, N.** (2014). Análisis de datos. Ingeniería de la fiabilidad. Gran Canaria, España. pp 5-64

**GALVÁN, B., SOSA, A., CARRIÓN, A., & MARTÍNEZ, N.** (2014). Anexos fiabilidad. Valencia, España. p.19

GALVÁN, B., SOSA, A., CARRIÓN, A., & MARTÍNEZ, N. (2014). Fiabilidad. Valencia, España. pp 5-72

**GRAN BRETAÑA. NT. BS 60812.** (2006). Analysis techniques for system reliability Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA. Londres - Gran Bretaña. BS NT 60812. pp. 7-50.

**IBM.** Software “Máximo para Oil&Gas”.

<http://www-03.ibm.com/software/products/es/maximo-for-oil-and-gas>

2015-09-20

**MARTÍNEZ, N.** (2014). Métodos cualitativos y cuantitativos en fiabilidad. Valencia, España. pp.3-25.

**MENESES, A.** (2013). Modelos de regresión paramétrica y no paramétrica. Riobamba. pp 5-34

**OREDA,** Offshore Reliability Data (OREDA)

<http://www.oreda.com/about-us/>

2015-11-02

**PLACENCIA, S.** (2014). FMECA para el Análisis de Riesgo. Riobamba, Ecuador. pp 1-46

RELEX. SOFTWARE “RELEX 2009 VERSIÓN EVALUACIÓN”, CARACTERÍSTICAS RBD.

<http://www.datsi.fi.upm.es/~rail/new/WP2/Relex/Relex.htm>

2015-10-21

**SEXTO, L.F.** (2015). Auditoria para evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa. Italia. pp 2-41

**SEXTO, L.F.** (2015). Ingeniería de la fiabilidad. Italia. pp 2-61

**SUIZA. NT. ISO 14224** Petroleum, petrochemical and natural gas industries. Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. SUIZA NT 14224. pp. 4-170.

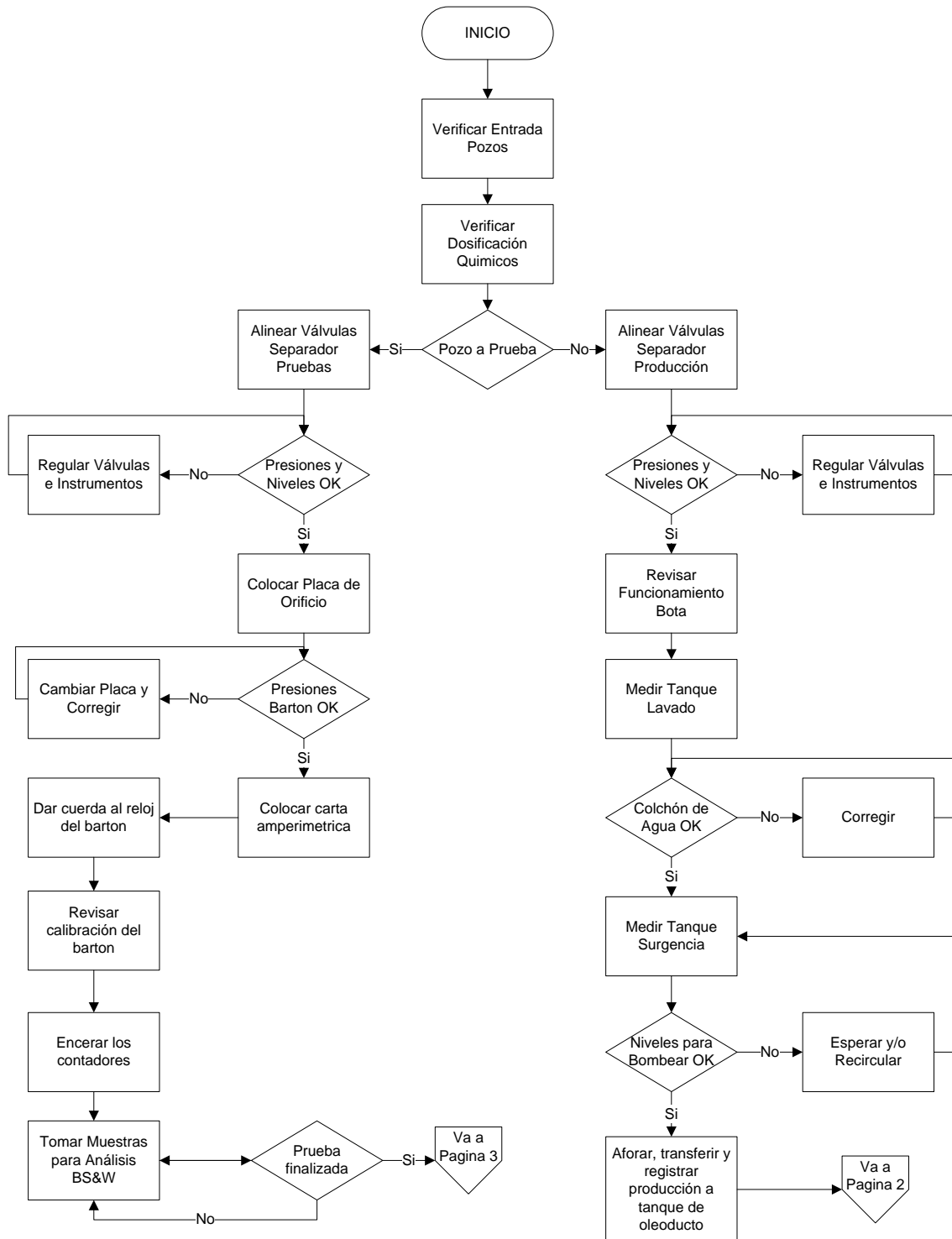
**USA. NT. MIL-STD-1629A.** (1980, November). Military Standard Procedures for Performing a failure mode, effects and criticality analysis. USA. pp 6-54

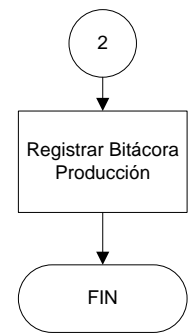
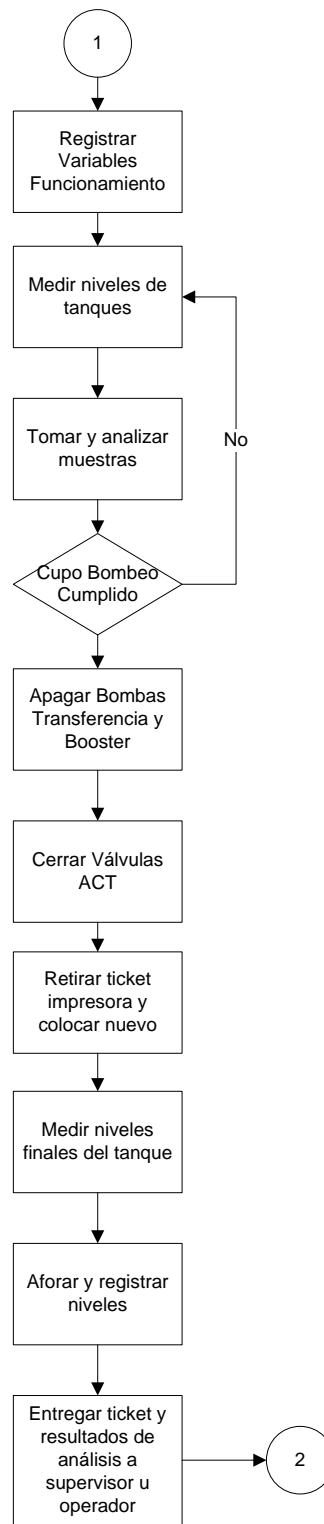
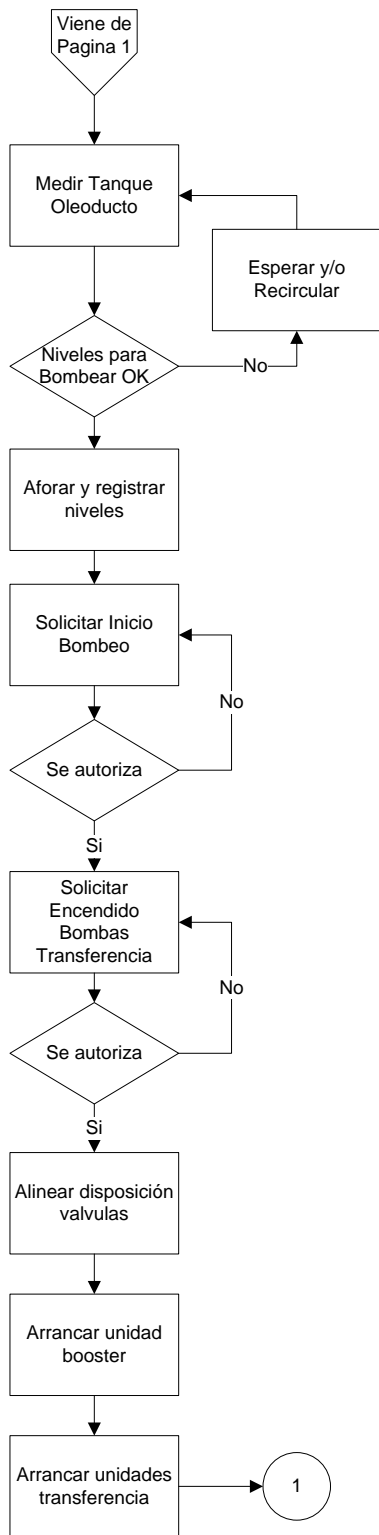
**USA. NT. SAE J1012, S.** (2002, Enero). Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). USA. pp 5-9

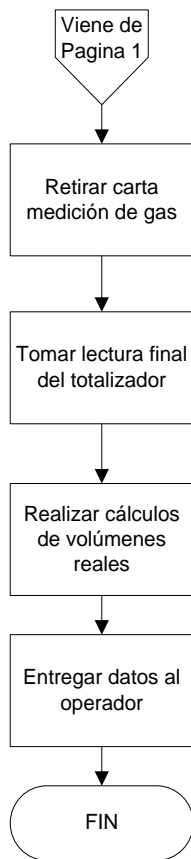
**WÜSTER, E.** (1968). Wikipedia. Retrieved from <https://es.wikipedia.org/wiki/Terminolog%C3%ADa>  
2015-06-18

## ANEXOS

### ANEXO A: Diagrama de flujo de procesos en una estación de producción de petróleo.









## **ANEXO B: Terminología de mantenimiento basado en normativa internacional.**

### **Términos fundamentales.**

**Mantenimiento:** Combinación de acciones técnicas y administrativas, incluyendo supervisión, cuyo fin es mantener o reparar el elemento para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas, (ISO 14224, 2006, p.05).

Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.8).

**Gestión del mantenimiento,** Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, y las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos, (UNE-EN 13306, 2002, p.8).

**Plan de mantenimiento:** Conjunto estructurado de tareas que comprenden las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar el mantenimiento, (UNE-EN 13306, 2002, p.8).

**Contexto Operacional:** Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Función:** Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Función requerida:** Función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado, (UNE-EN 13306, 2002, p.9), (ISO 14224, 2006, p.07).

**Función(es) Primaria(s):** La(s) función(es) que constituyen la(s) razón(es) principal(es) por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario, (SAE J1012, 2002, p.06).

**Funciones Secundarias:** Las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de su(s) función(es) primaria(s), así como aquellas que necesitan cumplir con los requerimientos reguladores o a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural (SAE J1012, 2002, p.06).

**Intervalo P-F:** El intervalo entre el punto en que una falla potencial se hace detectable y el punto en que esta se degrada hasta una falla funcional (también conocida como “período para el desarrollo de falla” o “tiempo esperado para la falla” (SAE J1012, 2002, p.07).

**Intervalo P-F Neto:** El intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Longevidad:** Una medida de exposición al esfuerzo calculada desde el momento en el cual un elemento o componente entra en servicio cuando nuevo o vuelve a entrar en servicio después de una tarea designada para restaurar su capacidad inicial, y puede ser medida en términos de tiempo de calendario, tiempo de operación, distancia recorrida, ciclos de durabilidad o unidades de producción o de rendimiento, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Usuario:** Una persona u organización que opera un activo o sistema y podría sufrir o acarrear la responsabilidad por las consecuencias de un modo de falla de ese sistema, (SAE J1012, 2002, p.07).

#### **Relativos al elemento.**

**Activo:** Un elemento considerado formalmente como contable, (UNE-EN 13306, 2002, p.9).

**Elemento (ítem):** Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que pueda considerarse individualmente, (UNE-EN 13306, 2002, p.9), (ISO 14224, 2006, p.05).

**NOTA** Un número dado de elementos, por ejemplo, un conjunto de elementos o una muestra, pueden por sí mismos considerarse como un elemento.

**Clase de equipo:** Clase similar de tipo unidades de equipo (por ejemplo, todas las bombas), (ISO 14224, 2006, p.03).

**Subunidad:** Montaje de artículos que proporciona una función específica que se requiere para la unidad de equipo dentro del límite principal para alcanzar su rendimiento previsto, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Elemento reparable:** Elemento que puede, después de un fallo y bajo unas condiciones determinadas, devolverse a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.9).

**NOTA** Las condiciones determinadas pueden ser económicas, ecológicas, técnicas y/u otras.

**Elemento mantenible,** ISO 14224, (2006), Elemento que constituye una pieza o un conjunto de piezas que normalmente es el nivel más bajo en la jerarquía de los equipos durante el mantenimiento, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Elemento reparado:** Elemento reparable que es de hecho reparado después de un fallo, (UNE-EN 13306, 2002, p.9).

**Elemento consumible:** Elemento o material que no es propiamente un elemento, y que se destina una utilización única, (UNE-EN 13306, 2002, p.9).

**Repuesto:** Elemento destinado a reemplazar un elemento análogo, con el fin de restablecer la función requerida original del elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.9).

**NOTA 1** El elemento original puede repararse subsecuentemente.

**NOTA 2** Un elemento que está dedicado y/o es intercambiable para un elemento determinado se denomina a menudo elemento de recambio.

### **Propiedades de los elementos.**

**Disponibilidad:** La capacidad de un elemento para desempeñar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un intervalo de tiempo dado, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios, (ISO 14224, 2006, p.02)

Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos (UNE-EN 13306, 2002, p.10).

**NOTA 1** Esta capacidad depende de la combinación de aspectos de la fiabilidad, la mantenibilidad y la sostenibilidad del mantenimiento.

**NOTA 2** Los recursos externos requeridos distintos de los recursos de mantenimiento no afectan la disponibilidad del elemento.

**Fiabilidad**, capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado, (UNE-EN 13306, 2002, p.10).

**NOTA** El término “fiabilidad” también se utiliza para designar el valor de la fiabilidad, y puede definirse a su vez como una probabilidad.

**Fiabilidad**, capacidad de un elemento para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado, (ISO 14224, 2006, p.07)

**NOTA 1** El término "fiabilidad" también se utiliza como una medida del rendimiento de fiabilidad y también se puede definir como una probabilidad.

**Probabilidad Condicional de Falla**, la probabilidad de que una falla ocurra en un período específico, dado que el elemento involucrado ha sobrevivido al comienzo de ese período, (SAE J1012, 2002, p.07)

**Mantenibilidad**, capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos, (ISO 14224, 2006, p.06), (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

**NOTA** La mantenibilidad también se utiliza para designar el valor de la ejecución de la mantenibilidad.

**Durabilidad**, capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas de uso y de mantenimiento hasta que se alcance un estado límite, (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

**NOTA** Un estado límite de un elemento puede caracterizarse por el fin de la vida útil, por su inadecuación por cualquier razón económica o tecnológica, o por otros factores relevantes.

**Redundancia**, en un elemento, es la existencia de más de un medio en un instante dado para desarrollar una función requerida, (ISO 14224, 2006, p.07), (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

**Redundancia activa**, redundancia en la cual todos los medios para desarrollar la función requerida están dispuestos para operar simultáneamente, (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

**Redundancia en espera**, redundancia en la cual una parte de los medios para desarrollar la función requerida están dispuestos para operar, mientras que la(s) parte(s) restante(s) de aquellos se encuentran inoperativos hasta que se necesiten, (UNE-EN 13306, 2002, p.10)

**NOTA** La redundancia en espera se denomina a menudo “redundancia pasiva”.

**Vida útil**, el intervalo de tiempo que bajo unas condiciones dadas comienza en un instante de tiempo determinado y termina cuando la tasa de fallos se hace inaceptable, o bien cuando el elemento se considera irreparable como resultado de una avería o bien de otros factores relevantes, (UNE-EN 13306, 2002, p.11)

**Tasa de aparición de fallos**, Número de fallos de un elemento en un intervalo de tiempo determinado, dividido por el intervalo de tiempo, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA** En ciertos casos la unidad de tiempo puede reemplazarse por las unidades de uso.

### **Fallos y eventos.**

**Fallo**, cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida, (ISO 14224, 2006, p.04), (UNE-EN 13306, 2002, .p.11).

**NOTA 1** Después del fallo el elemento presenta una avería, la cual puede resultar completa o parcial.

**NOTA 2** El “fallo” es un evento, a diferenciar de la “avería” que es un estado.

**NOTA 3** Este concepto como se define no se aplica a artículos que consisten en software solamente, (ISO 14224, 2006, p.04).

**Fallo crítico**, fallo de una unidad de equipo que causa el cese inmediato de la capacidad de realizar una función requerida, (ISO 14224, 2006, p.03).

**NOTA** Incluye fallos que requieren una acción inmediata hacia la cesación de realizar la función, aunque la operación real puede continuar durante un corto período de tiempo. Un fallo crítico termina en una reparación no programada

**Fallo no crítico**, fallo de un equipo que no causa el cese inmediato de la capacidad de realizar su función requerida, (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA** fallos no críticos pueden ser categorizados como "degradados" o "incipientes"

**Fallo incipiente**, imperfección en el estado o condición de un elemento de manera que un fallo degradado o crítico podría (o no podría) eventualmente ser el resultado esperado si no se toman acciones correctivas, (ISO 14224, 2006, p.05).

**Fallo degradado**, fallo que no cesa la función fundamental (s), pero compromete una o varias funciones, (ISO 14224, 2006, p.03).

**NOTA** El fallo puede ser gradual, parcial o ambos. La función puede verse comprometida por cualquier combinación de reducción, o incremento de salidas erráticas. Una reparación inmediata normalmente se puede retrasar, pero, con el tiempo, estos fallos pueden convertirse en un fallo crítico si no se toman acciones correctivas.

**Degradación**, proceso irreversible en una o más características de un elemento con el tiempo, el uso o bien por una causa externa, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA 1** La degradación puede conducir al fallo.

**NOTA 2** La degradación se denomina a menudo desgaste.

**Causa de fallo**, causa raíz, circunstancias asociadas con el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento que han llevado a un fallo, (ISO 14224, 2006, p.04), razón que conduce al fallo, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA** – Las razones pueden ser el resultado de uno o más de los siguientes factores: Fallo de diseño, fallo de fabricación, fallo de instalación, fallo por uso inapropiado, fallo por manipulación inadecuada, fallo relacionado con el mantenimiento.

**Fallo por desgaste**, fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el tiempo de operación o con el número de operaciones del elemento o con las tensiones aplicadas, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA** – El desgaste es un fenómeno físico que conduce a una pérdida o deformación del material.

**Fallo por envejecimiento**, fallo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el paso del tiempo. Este tiempo es independiente del tiempo de operación del elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA** El envejecimiento es un fenómeno físico que implica una modificación de las características físicas y/o químicas del material.

**Causa común del fallo**, fallo de elementos diferentes que resultan de la misma causa directa, que ocurren dentro de un tiempo relativamente corto, en donde estos fallos no son consecuencia de otro, (ISO 14224, 2006, p.03), (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**NOTA** Componentes que fallan debido a una causa compartida normalmente fallan en el mismo modo funcional. El término común modo es, por lo tanto, usado algunas veces. Esto, sin embargo, no considera que sea un término preciso para comunicar las características que describen una causa común del fallo.

**Fallo primario**, fallo de un elemento no causado directa o indirectamente por un fallo o avería de otro elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.11).

**Mecanismo de fallo**, procesos físicos, químicos o de otro tipo que conducen o que han conducido al fallo, (ISO 14224, 2006, p.04), (UNE-EN 13306, 2002, p.12).

**Datos del fallo**, Datos que caracterizan la ocurrencia de un evento de fallo, (ISO 14224, 2006, p.04).

**Impacto del fallo**, ISO impacto de un fallo en la función de un equipo (s) o en la planta (ISO 14224, 2006, p.04).

**Falla oculta**, un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado, (SAE J1012, 2002, p.06).

**Fallo oculto**, fallo que no es inmediatamente evidente para las operaciones y el personal de mantenimiento, (ISO 14224, 2006, p.05).

**NOTA** El equipo que no realiza "bajo demanda" con una función entra en esta categoría. Es necesario que tales fallos estén detectados para ser revelados.

**Modo de fallo**, efecto por el cual se observa un fallo en el elemento fallado, (ISO 14224, 2006, p.04).

**Modo de Falla**, un evento único, que causa una falla funcional, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Falla Múltiple**, un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla, (SAE J1012, 2002, p.06).

**Falla Potencial**, una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir, (SAE J1012, 2002, p.06).

**Falla Evidente**, un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado, (SAE J1012, 2002, p.06).

## **Averías y estados**

**Avería**, estado de un elemento caracterizado por la incapacidad para desarrollar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos, (ISO 14224, 2006, p.05), (UNE-EN 13306, 2002, p.12).

**Modo de avería**, método mediante el cual se establece la incapacidad de un elemento para desarrollar una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.12).

**NOTA** Se desaconseja el uso del término “modo de fallo” en este sentido.

**Estado inactivo**, estado deshabilitado de un elemento caracterizado por una avería o por una posible incapacidad para realizar una requerida función durante el mantenimiento preventivo, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Estado de indisponibilidad**, estado de un elemento caracterizado bien por una avería o por una posible incapacidad para desarrollar una función requerida durante el mantenimiento preventivo, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**NOTA 1** Este estado está relacionado con la noción de disponibilidad.

**NOTA 2** Un estado de indisponibilidad se denomina en ocasiones estado de incapacidad interno.

**Estado de funcionamiento (operativo)**, estado de un artículo caracterizado por el hecho de que puede realizar una función requerida, suponiendo que los recursos externos requeridos son proporcionados, (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA** Esto se relaciona con el rendimiento y disponibilidad

Estado en el que el elemento está desarrollando una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**Estado de inactividad**, estado de disponibilidad no operativo, durante un tiempo no requerido, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**NOTA** El estado de la inactividad no se debería confundir con el funcionamiento en vacío, que es una condición de elementos rotando o moviéndose sin carga o salida útil

**Estado de espera**, estado de disponibilidad no operativo, durante el tiempo requerido, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).



**Paro**, UNE-EN 13306, (2002) Cese de la operación previamente programado, por mantenimiento o por otros propósitos, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**NOTA** El paro puede denominarse también "parada planificada".

**Efecto de Falla**, lo que pasa cuando ocurre un modo de falla, (SAE J1012, 2002, p.06).

**Falla Funcional**, un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado, (SAE J1012, 2002, p.06).

### **Tipos y estrategias de mantenimiento.**

**Mantenimiento preventivo:** Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.13), (ISO 14224, 2006, p.07).

**Mantenimiento programado:** Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a un programa de tiempo establecido, o a un número de unidades de uso definido, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**Mantenimiento sistemático:** Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**Mantenimiento basado en la condición:** Mantenimiento preventivo basado en la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento, y las acciones subsiguientes, (UNE-EN 13306, 2002, p.13).

**NOTA** La monitorización del funcionamiento y de los parámetros puede ser programado, bajo demanda o continuo.

**Mantenimiento predictivo:** Mantenimiento basado en la condición ejecutado siguiendo una previsión consecuencia del análisis y evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.14).

**Mantenimiento Proactivo:** Mantenimiento emprendido antes de que ocurra una falla, para prevenir que cualquier elemento entre en estado de falla (restauración programada, desincorporación programada y mantenimiento basado en condición), (SAE J1012, 2002, p.07).

**Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.14), (ISO 14224, 2006, p.03).

**Mantenimiento oportunidad:** Mantenimiento de un elemento que se posterga o adelanta en el tiempo cuando se convierte en una oportunidad no planificada disponible, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Mantenimiento diferido:** Mantenimiento correctivo que no es ejecutado inmediatamente después de la detección de una avería, sino que es retrasado de acuerdo con las reglas de mantenimiento dadas, (UNE-EN 13306, 2002, p.14).

**Mantenimiento de urgencia:** Mantenimiento correctivo que es ejecutado sin dilación después de que la avería se ha detectado, con el fin de evitar consecuencias inaceptables, (UNE-EN 13306, 2002, p.14).

**Operar hasta Fallar:** Una política de manejo de fallas que permite que un modo de falla específico ocurra sin ningún esfuerzo para anticiparla o prevenirla, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Política de Manejo de Fallas:** Un término genérico que abarca tareas basadas en condición, restauración programada, desincorporación programada, detección de falla, operar hasta fallar y cambio de especificaciones, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Programado:** Se establece como fijo, a intervalos predeterminados, incluye “monitoreo continuo” (donde el intervalo es efectivamente cero), (SAE J1012, 2002, p.07).

**Restauración Programada:** Una tarea programada que restaura la capacidad de un elemento en (o antes de) un intervalo especificado (límite de longevidad), sin tener en cuenta su condición en el momento, a un nivel que proporciona una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final de otro intervalo especificado, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Tarea Apropiada:** Una tarea que es técnicamente factible y al mismo tiempo vale la pena realizar (aplicable y efectiva), (SAE J1012, 2002, p.07).

**Tarea Basada en Condición:** Una tarea programada usada para detectar una falla potencial, (SAE J1012, 2002, p.07).

**Tarea para Detectar Fallas:** Una tarea programada utilizada para determinar si ha ocurrido una falla oculta específica. , (SAE J1012, 2002, p.07).

#### **Actividades de mantenimiento.**

**Inspección:** Control de conformidad mediante medición, observación, ensayo o calibración de las características relevantes de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.14).

**NOTA** Generalmente la inspección puede ejecutarse antes, durante o después de otra actividad de mantenimiento.

**Monitorización:** Actividad desarrollada manual o automáticamente, destinada a observar el estado actual de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**NOTA 1** La monitorización se distingue de la inspección en que aquella se utiliza para evaluar cualquier cambio en los parámetros del elemento a lo largo del tiempo.

**NOTA 2** La monitorización puede ser continua, sobre un intervalo de tiempo o bien después de un número dado de operaciones.

**NOTA 3** La monitorización se ejecuta sobre el elemento generalmente en el estado de funcionamiento.

**Mantenimiento de rutina:** Actividades de mantenimiento elementales, regulares o repetitivas, que no requieren por lo general cualificaciones, autorización(es) o herramientas, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**NOTA** – El mantenimiento de rutina puede incluir, por ejemplo, la limpieza, el apriete de conexiones, el control del nivel de líquidos, la lubricación, etc.

**Revisión:** Conjunto extenso de exámenes y acciones, ejecutado con el fin de mantener el nivel requerido de disponibilidad y seguridad de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**NOTA 1** La revisión puede desarrollarse a intervalos prescritos de tiempo o después de un número de operaciones dado.

**NOTA 2** La revisión puede requerir un desmontaje completo o parcial del elemento.

**Reconstrucción:** Acción que sigue al desmontaje de un elemento, y a la reparación o el reemplazo de aquellos subelementos que se están aproximando al final de su vida útil, y/o que deberían reemplazarse regularmente, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**NOTA 1** – La reconstrucción difiere de la revisión en que las acciones pueden incluir modificaciones y/o mejoras.

**NOTA 2** – El objetivo de la reconstrucción es normalmente procurar una vida útil a un elemento que pueda ser mayor que aquella del elemento original

**Reparación:** Acción física realizada para restablecer la función requerida de un elemento averiado, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**Mejora:** Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, destinada a mejorar la seguridad de funcionamiento de un elemento sin cambiar su función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.15).

**Modificación:** Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión destinadas a cambiar la función de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.16), (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA 1** La modificación no significa el reemplazo por un elemento equivalente.

**NOTA 2** La modificación no es una acción de mantenimiento, pero debe producir el cambio en la función requerida de un elemento a una nueva función. Los cambios pueden tener influencia en la seguridad de funcionamiento o en el funcionamiento del elemento, o en ambos.

**NOTA 3** – La modificación puede asignarse a la organización de mantenimiento.

### **Términos relativos al tiempo.**

**Tiempo de indisponibilidad:** Intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en un estado de indisponibilidad, (UNE-EN 13306, 2002, p.16), (ISO 14224, 2006, p.03).

**Tiempo de funcionamiento (operativo):** Intervalo de tiempo durante el cual un elemento está desarrollando su función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.16), (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA** tiempo operativo incluye el funcionamiento real del equipo o que el equipo está disponible para la realización de su función de la demanda requerida.

**Tiempo requerido:** Intervalo de tiempo durante el cual el usuario demanda que el elemento se encuentre en condición de desarrollar una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.16).

**Tiempo de espera:** Intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en un estado de espera, (UNE-EN 13306, 2002, p.16).

**Tiempo de inactividad:** Parte del tiempo que un artículo no está en funcionamiento, intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en un estado de inactividad, (UNE-EN 13306, 2002, p.16), (ISO 14224, 2006, p.07).

**Tiempo de mantenimiento:** Intervalo de tiempo durante el cual el mantenimiento se ejecuta sobre un elemento bien manual o automáticamente, incluyendo los retrasos técnicos y logísticos, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**NOTA** El mantenimiento puede ejecutarse mientras el elemento esté desarrollando una función requerida.

**Tiempo de mantenimiento preventivo:** Parte del tiempo de mantenimiento durante el cual se ejecuta el mantenimiento preventivo sobre un elemento, incluyendo los retrasos técnicos y logísticos inherentes al mantenimiento preventivo, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Tiempo de mantenimiento correctivo:** Parte del tiempo de mantenimiento durante el cual se ejecuta el mantenimiento correctivo sobre un elemento, incluyendo los retrasos técnicos y logísticos inherentes al mantenimiento correctivo, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Tiempo de mantenimiento activo:** Parte del tiempo de mantenimiento durante el cual se ejecuta el mantenimiento de forma activa sobre un elemento, bien manual o automáticamente, excluyendo los retrasos técnicos y logísticos.

**NOTA** – Una acción de mantenimiento activo puede ejecutarse mientras el elemento esté desarrollando una función requerida, (UNE-EN 13306, 2002, p.17), (ISO 14224, 2006, p.02).

**Horas-hombre de mantenimiento:** Duración acumulada de los tiempos de mantenimiento individual expresado en horas empleadas por el personal de mantenimiento para un tipo específico de acción de mantenimiento o durante un intervalo de tiempo determinado, (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA 1** Mantenimiento de horas-hombre se expresa en unidades de horas

**NOTA 2** Como varias personas pueden trabajar al mismo tiempo, las horas-hombre no están directamente relacionadas con otros parámetros como el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) o La media de tiempo de inactividad (MDT)

**Tiempo de reparación:** Parte del tiempo de mantenimiento correctivo activo durante el cual la reparación se ejecuta sobre un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Retraso logístico:** Tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede ejecutarse debido a la necesidad de adquirir recursos de mantenimiento, excluyendo cualquier retraso administrativo, (UNE-EN 13306, 2002, p.17), (ISO 14224, 2006, p.05).

**NOTA** Los retrasos logísticos pueden ser, por ejemplo, debidos a los desplazamientos a instalaciones desatendidas, a la espera en la llegada de repuestos, especialistas, equipamiento de ensayo e información, y a la inexistencia de condiciones medioambientales apropiadas.

**Tiempo hasta el fallo:** Duración total del tiempo de operación de un elemento, desde el instante en que se encuentra por primera vez en un estado de disponibilidad hasta la aparición del fallo, o desde el instante de restablecimiento hasta la aparición del próximo fallo, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Tiempo entre fallos:** Duración entre dos fallos consecutivos de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Tiempo de funcionamiento entre fallos:** Duración total del tiempo de operación entre dos fallos consecutivos de un elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Periodo de fallo por desgaste:** Periodo final en la vida de un elemento durante el cual la *s* para aquél es considerablemente superior que la del periodo precedente, (UNE-EN 13306, 2002, p.17).

**Periodo de tasa de fallos constante:** Periodo en la vida de un elemento durante el cual la tasa de fallos es aproximadamente constante, (UNE-EN 13306, 2002, p.18).

**Ciclo de vida:** Intervalo de tiempo que comienza con el inicio del diseño y termina con la retirada del elemento, (UNE-EN 13306, 2002, p.19).

### **Soporte y herramientas del mantenimiento.**

**Análisis de fallos:** Examen lógico y sistemático de un elemento que presenta un fallo, con el fin de identificar y analizar el mecanismo de fallo, la causa de fallo y las consecuencias del fallo, (UNE-EN 13306, 2002, p.18).

**Análisis de averías:** Examen lógico y sistemático de un elemento con el fin de identificar y analizar la probabilidad, las causas y las consecuencias de averías potenciales, (UNE-EN 13306, 2002, p.18).

**Documentación del mantenimiento:** Información en soporte escrito o electrónico requerida para ejecutar el mantenimiento, (UNE-EN 13306, 2002, p.18).

**NOTA** – Esta información puede consistir en documentos técnicos, de gestión, administrativos u otros.

**Datos de mantenimiento:** Datos que caracterizan la acción de mantenimiento planificado o realizado, (ISO 14224, 2006, p.06).

**Impacto de mantenimiento:** Impacto del mantenimiento en la planta o en las funciones del equipo, (ISO 14224, 2006, p.06).

**NOTA** A nivel de equipos se definen dos categorías de severidad: crítico y no crítico. A nivel de planta, se definen tres clases de impacto: total, parcial o nulo (cero).

**Inventario de elementos:** Registro de los elementos individualmente identificados junto con su ubicación, (UNE-EN 13306, 2002, p.18).

**Datos de los equipos:** Parámetros técnicos, operativos y ambientales que caracterizan el diseño y el uso de una unidad de equipo, (ISO 14224, 2006, p.04).

**Fiabilidad de los datos genéricos:** Datos de fiabilidad que cubren familias de equipos similares, (ISO 14224, 2006, p.05).

**Unidad de equipo:** Unidad de equipo específico dentro de una clase de equipos según la definición de sus límites (por ejemplo, una bomba), (ISO 14224, 2006, p.04).

**Error:** Discrepancia entre un valor o condición computado, observado o medido y el verdadero valor determinado o condición teóricamente correcta, (ISO 14224, 2006, p.04).

**NOTA 1** Un error puede ser causado por un artículo defectuoso, por ejemplo, un error de cómputo realizado por los equipos informáticos defectuosos.

**NOTA 2** El término francés "erreur" también puede designar un error

**Registro de mantenimiento:** Parte de la documentación de mantenimiento que contiene todos los fallos, averías e información de mantenimiento relativa al elemento. Este registro puede incluir a su vez los costes de mantenimiento, la disponibilidad del elemento, el tiempo de disponibilidad y cualquier otro dato relevante, (UNE-EN 13306, 2002, p.18), (ISO 14224, 2006, p.06).

**Período de vigilancia:** Intervalo de tiempo (tiempo de calendario) entre la fecha de inicio y fecha de finalización de la recolección de datos de fiabilidad y mantenimiento, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Número de etiqueta (tag):** Número que identifica la ubicación física del equipo, (ISO 14224, 2006, p.07).

**Taxonomía:** Clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios de los artículos, (ISO 14224, 2006, p.07).



**ANEXO C: ISO 14224, (2006) Tabla 2, ejemplos de taxonomía (p.19).**

Categoría principal	Nivel taxonómico	Taxonomía jerárquica	Definición	Ejemplos
Uso / ubicación datos	1	Industria	Tipo principal de industria	Petróleo, gas natural, petroquímica
	2	Categoría de negocios	Tipo de empresa o flujo de proceso	Aguas arriba (E&P), centro, aguas abajo (refinación), petroquímica
	3	Categoría de instalación	Tipo de facilidad	La producción de petróleo / gas, el transporte, la perforación, el GNL (gas natural licuado), refinería, petroquímica (véase la Tabla A.1)
	4	Categoría planta/unidad	Tipo de planta /unidad	Plataforma, semi-sumergible, hidrocrackeo, crackero de etileno, polietileno, planta de ácido acético, planta de metanol (véase el cuadro A.2)
	5	Sección/sistema	Principal sección/sistema de planta	Compresión, gas natural, licuefacción, gasóleo al vacío, regeneración de metanol, sección de oxidación, sistema de reacción, sección de destilación, sistema de carga del petrolero (véase la Tabla A.3)
Equipo subdivisión	6	Clase Equipo / unidad	Clase de unidades de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables (por ejemplo, compresores).	Intercambiador de calor, compresores, tuberías, bombas, calderas, extrusora de turbina de gas, agitador, horno, árbol de Navidad, evita explosión (véase el cuadro A.4)
	7	Subunidad	Un subsistema necesario para que la unidad del equipo funcione	Subunidad de lubricación, subunidad de refrigeración, control y monitoreo, subunidad de calefacción, subunidad de granulación, subunidad de temple, subunidad de refrigeración, subunidad de reflujo y subunidad de control distribuido
	8	Componente / artículo Mantenible (MI) <sup>1</sup>	El grupo de partes de la unidad de equipo que son comúnmente mantenidos (reparado / restaurada) como un todo	Enfriador, acoplamiento, caja de cambios, bomba de aceite, lazo de instrumentación, motor, válvula, filtro, sensor de presión, sensor de temperatura, circuito eléctrico.
	9	Parte <sup>2</sup>	Un simple elemento de un equipo	Sello, tubo, carcasa, impulsor, empaque, placa filtro, perno, tuerca, etc.

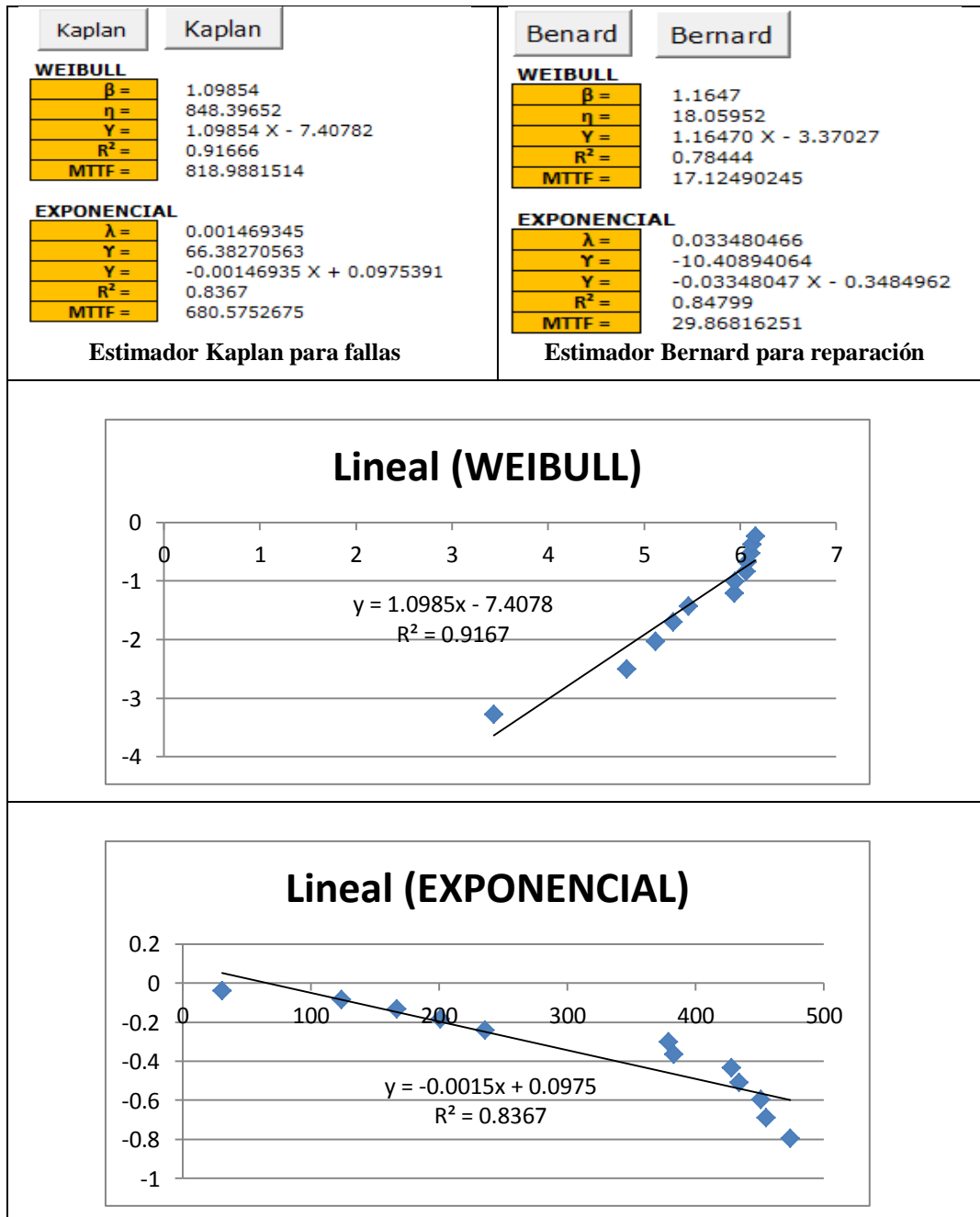
*Fuente: ISO 14224,2006, p.19, Realizado por: Arias, José, 2015.*

<sup>1</sup> Para algunos tipos de equipos, puede que no haya un MI; por ejemplo si la clase de equipo esté bien, podría haber MI, pero la parte podría ser "codo".

<sup>2</sup> Si bien este nivel puede ser útil en algunos casos, se considera opcional en esta norma.

## ANEXO D: Análisis por tipo de equipo, “PAM\_WO\_FailureCodes 1.rev1.xls”

**Anexo 1.D, Bombas Booster:** No existen registros para el año 2013, se evaluó desde enero del 2014, hasta julio del 2015, se encuentran 27 registros en el período de 576 días, seis bombas no han presentado falla, nueve una falla por lo tanto se consideran quince datos como censurados, doce equipos han presentado más de un fallo y se consideran como datos válidos.



Realizado por: Arias, José, 2015.

Anexo 1.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, bombas booster.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140556277	CAMBIO DE SELLO MECANICO DE LA BOMBA	PCF-0671	ATP-BRA-SBBT-02	PUCE	ELU2	5/24/14	6/24/14	31		32.5
OT-140197214	CAMBIO DE SELLO MECÁNICO	PCF-0473	SRP-BRA-SBBB-01	PUCE	OTH	1/1/14	3/11/14	69	x	5.0
OT-140242103	PCF-0670 CORRECCION DE FUGA DE ACEITE DE LA BOMBA	PCF-0670	ATP-BRA-SBBT-01	PUCE	ELP	1/1/14	3/27/14	85	x	24.0
OT-140246459	PCF-0115 REPARACION DE LA BOMBA	PCF-0115	ATC-001-BRA-SBBB-01	PUCE	VIB	1/1/14	3/29/14	87	x	11.0
OT-141112026	CAMBIO U REPARACION DE SELLO MECANICO	PCF-0519	FRP-BRA-SBBB-01	PUCE	INL1	7/27/14	11/28/14	124		7.0
OT-140422384	PCF-0671; REPARACIÓN DE SELLO MECÁNICO	PCF-0671	ATP-BRA-SBBT-02	PUCE	OTH	1/1/14	5/24/14	143	x	6.0
OT-140814853	PCF-0670: REPARACION DE BOMBA	PCF-0670	ATP-BRA-SBBT-01	PUCE	VIB	3/27/14	9/10/14	167		6.5
OT-150341681	PCF-0670: REPARAR BOMBA CENTRIFUGA	PCF-0670	ATP-BRA-SBBT-02	PUCE	ELP	9/10/14	3/30/15	201		108.5
OT-140663889	PCF-0519: CAMBIAR SELLO MECANICO	PCF-0519	FRP-BRA-SBBB-01	PUCE	ELP	1/1/14	7/27/14	207	x	9.8
OT-150176757	PCF-0671: CAMBIAR SELLO MECANICO	PCF-0671	ATP-BRA-SBBT-01	PUCE	ELU2	6/25/14	2/16/15	236		11.0
OT-150051340	PCF-0404: CAMBIAR COUPLING EN BOMBA	PCF-0404	TPP-BRA-SBBB-02	PUCE	BRD	1/1/14	1/15/15	379		5.5
OT-150321754	PCF-0473: CME REPARACION BOMBA CENTRIFUGA.	PCF-0473	SRP-BRA-SBBB-01	PUCE	ELU2	3/11/14	3/29/15	383		16.0
OT-150246983	PCF-0613: CAMBIAR SELLO MECANICO	PCF-0613	SCY-025-BRA-SBBB-01	PUCE	ELP	1/1/14	3/5/15	428		57.0

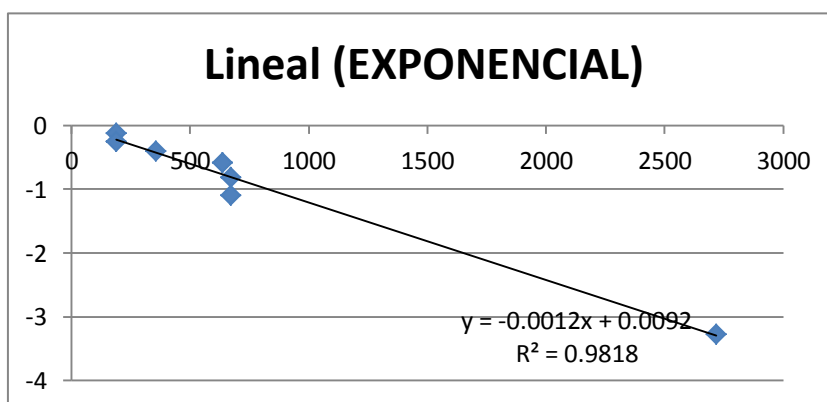
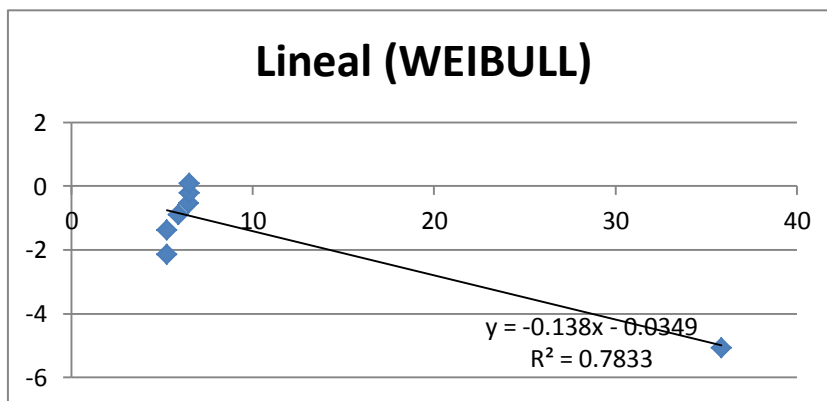
Anexo 1.D Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-150266182	PCF-0280: CAMBIAR SELLO MECANICO	PCF-0280	SHH-003-BRA-SBBB-01	PUCE	ELP	1/1/14	3/11/15	434		7.5
OT-140410042	PCF-0615 CORRECCION FUGA DE AGUA	PCF-0615	SCY-025-BRA-SBBB-02	CAR	RDT	5/21/14	7/31/15	436	x	3.0
OT-150321762	DESMONTAJE Y MANTENIMIENTO DE LA BOMBA	PCF-0279	SRP-BRA-SBBB-02	PUCE	ELU2	1/1/14	3/28/15	451		7.0
OT-150690146	PCF-0115; CAMBIO DE ACEITE POR CONTAMINACION	PCF-0115	ATC-001-BRA-SBBB-01	PUCE	OTH	3/29/14	6/27/15	455		4.7
OT-150027408	PCF-0404; REPARACION BOMBA, CAMBIO DE RODAMIENTOS, ASENTAR SKID	PCF-0404	TPP-BRA-SBBB-02	PUCE	VIB	1/1/14	4/20/15	474		11.0
OT-140253785	PCF-0615; CAMBIO DE RODAMIENTOS Y COUPLING MOTOR-BOMBA	PCF-0615	SCY-025-BRA-SBBB-02	PUCE	VIB	3/30/14	7/31/15	488	x	11.0
OT-140197216	CAMBIO DE SELLO MECANICO	PCF-0245	SRP-BRA-SBBB-02	PUCE	ELU2	3/14/14	7/31/15	504	x	6.8
OT-140004277	CAMBIO DE SELLO MECÁNICO	PCF-0104	FRP-BRA-SBBB-02	PUCE	ELU2	1/2/14	7/31/15	575	x	32.0
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0122	PCP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0110	PCP-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0672	SHH-003-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0502	TPP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0493	TTP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	
SIN FALLA	SIN FALLA	PCF-0123	TTP-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/14	7/31/15	576	x	

Realizado por: Arias, José, 2015.

**Anexo 2.D, Bombas horizontales multi etapas (HPS):** en el periodo de 940 días, en 22 registros encontrados 15 unidades no han presentado falla, los cuales se consideran como datos censurados, siete han presentado más de una falla y son evaluados como datos válidos, la razón por la cual se observa menor cantidad de equipos es que se componen generalmente por más de un cuerpo registrado como activo, pero funcionalmente considerado como unidad funcional ya que operativamente trabajan en conjunto acoplando dos o tres cuerpos (bombas) en serie.

<div> <div>Kaplan</div> <div>Kaplan</div> </div> <div> <b>WEIBULL</b> <table> <tr><td><math>\beta =</math></td><td>1.94432</td></tr> <tr><td><math>\eta =</math></td><td>1332.75631</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td><math>1.94432 X - 13.98939</math></td></tr> <tr><td><math>R^2 =</math></td><td>0.94114</td></tr> <tr><td>MTTF =</td><td>1181.854575</td></tr> </table>   <b>EXPONENCIAL</b> <table> <tr><td><math>\lambda =</math></td><td>0.000626238</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td>235.0246931</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td><math>-0.00062624 X + 0.1471813</math></td></tr> <tr><td><math>R^2 =</math></td><td>0.93918</td></tr> <tr><td>MTTF =</td><td>1596.837856</td></tr> </table> </div> <div>Estimador Kaplan para fallas</div>	$\beta =$	1.94432	$\eta =$	1332.75631	$Y =$	$1.94432 X - 13.98939$	$R^2 =$	0.94114	MTTF =	1181.854575	$\lambda =$	0.000626238	$Y =$	235.0246931	$Y =$	$-0.00062624 X + 0.1471813$	$R^2 =$	0.93918	MTTF =	1596.837856	<div> <div>Benard</div> <div>Bernard</div> </div> <div> <b>WEIBULL</b> <table> <tr><td><math>\beta =</math></td><td>0.80596</td></tr> <tr><td><math>\eta =</math></td><td>24.16664</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td><math>0.80596 X - 2.56697</math></td></tr> <tr><td><math>R^2 =</math></td><td>0.82881</td></tr> <tr><td>MTTF =</td><td>27.23692831</td></tr> </table>   <b>EXPONENCIAL</b> <table> <tr><td><math>\lambda =</math></td><td>0.026658463</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td>-10.39270517</td></tr> <tr><td><math>Y =</math></td><td><math>-0.02665846 X - 0.2770535</math></td></tr> <tr><td><math>R^2 =</math></td><td>0.91484</td></tr> <tr><td>MTTF =</td><td>37.51153962</td></tr> </table> </div> <div>Estimador Bernard para reparación</div>	$\beta =$	0.80596	$\eta =$	24.16664	$Y =$	$0.80596 X - 2.56697$	$R^2 =$	0.82881	MTTF =	27.23692831	$\lambda =$	0.026658463	$Y =$	-10.39270517	$Y =$	$-0.02665846 X - 0.2770535$	$R^2 =$	0.91484	MTTF =	37.51153962
$\beta =$	1.94432																																								
$\eta =$	1332.75631																																								
$Y =$	$1.94432 X - 13.98939$																																								
$R^2 =$	0.94114																																								
MTTF =	1181.854575																																								
$\lambda =$	0.000626238																																								
$Y =$	235.0246931																																								
$Y =$	$-0.00062624 X + 0.1471813$																																								
$R^2 =$	0.93918																																								
MTTF =	1596.837856																																								
$\beta =$	0.80596																																								
$\eta =$	24.16664																																								
$Y =$	$0.80596 X - 2.56697$																																								
$R^2 =$	0.82881																																								
MTTF =	27.23692831																																								
$\lambda =$	0.026658463																																								
$Y =$	-10.39270517																																								
$Y =$	$-0.02665846 X - 0.2770535$																																								
$R^2 =$	0.91484																																								
MTTF =	37.51153962																																								



Realizado por: Arias, José, 2015.

Anexo 2.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, bombas HPS.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140319357	OS-113703-SLB-201404-CAMBIO DE O-RING DEL CARRETO DE SUCCION REPARADO	PCF-0858	PCP-BRA-SBRA-03	PUCE	OTH	4/23/14	7/30/15	463		3.75
OT-150055957	PCF-0950: REVISAR SELLO MECANICO	PCF-0950	ATC-001-BRA-SBRA-01	PUCEWI	ELP	1/1/13	1/15/15	744		83.5
OT-140236415	OS-113703-SCHLUMBERGER; CAMBIO DE ORING Y SELLO MECANICO DE LA HPS 02 DE LA ESTACION SHUARA	PCF-0971	SRP-BRA-SBRA-02	PUCE	OTH	3/23/14	7/30/15	494		16
OT-140233663	DESMONTAJE DE BOMBA PARA REPARACION	PCF-1015	SHH-003-BRA-SBRA-01	PUCE	OTH	3/23/14	7/30/15	494		28
OT-141053087	OS-130880-SLB-20140829 REPARACION MAYOR DE BOMBA PCF-1401	PCF-1019	SRP-BRA-SBRA-01	PUCE	OHE	2/2/13	12/12/14	678		26
OT-140298803	OS-113703-SLB-201404-MONTAJE DE BOMBA REPARADO	PCF-1027	FRP-BRA-SBRA-01	PUCE	OTH	5/10/13	7/30/15	811		4
OT-141018783	PCF-1036. CAMBIO DE ORING DE SPULL DE SUCCION	PCF-1036	ATC-001-BRA-SBRA-02	PUCEWI	ELP	10/29/14	7/30/15	274		4
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0

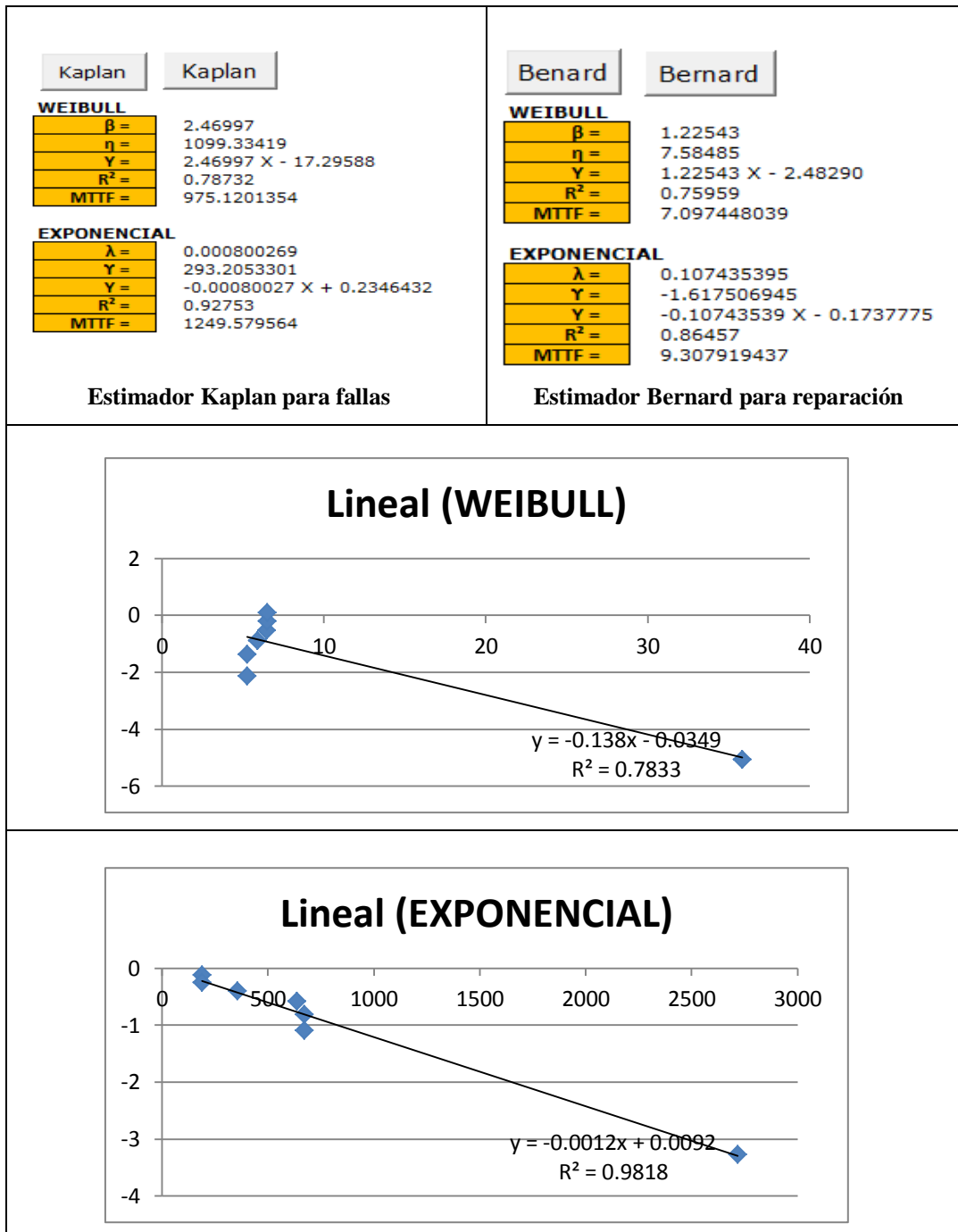
Anexo 2.D Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-04	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATC-003I-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-001I-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	x	0

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

**Anexo 3.D, Sistemas de control:** existen dos tipos de sistemas de control para las unidades HPS, unidades más modernas y con requerimientos especiales pueden hacerse a través de variadores de frecuencia (VSD)

**Variadores de frecuencia:** en el periodo evaluado de 940 días, en dieciocho registros, doce unidades no han presentado falla y se consideran como datos censurados, seis unidades han presentado más de una falla y se estiman como datos válidos.



Realizado por: Arias, José, 2015.



Anexo 3.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, variadores de frecuencia.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140281902	REPARACION PRUEBAS E INSTALACION VSD EN HPS N° 03POR DAÑO	VSD-0358	SRP-BRA-SBRA-04	CONEMER	ANAB	4/13/14	7/30/15	473		4.3
OT-140354708	REPARACIÓN VSD 390 kVA DE UNIDAD HPS RYA No.2	VSD-0728	TPP-BRA-SBRA-02	PTDT	UNK	5/4/14	7/30/15	452		20.1
OT-140423515	OS-113703-SCHLUMBERGER-201310-REPARACIÓN, PRUEBAS DE EQUIPOS BES Y HPS	VSD-0482	PCP-BRA-SBRA-01	HEATEX	FAN	5/26/14	7/30/15	430		2.5
OT-140656624	VSD-0630: CAMBIO DE TARJETA CONTROL	VSD-0630	SYP-BRA-SBBT-02	CONEMER	DIGB	1/1/13	7/22/14	567		3.0
OT-141068363	VSD-0304: CAMBIO DE FUSIBLE 400 A	VSD-0304	SRP-BRA-SBRA-02	VSD	PWRFS	1/1/13	11/13/14	681		3.8
OT-150432476	VSD-0306; CHEQUEO DE VSD 600 KVA	VSD-0306	ATC-001-BRA-SBRA-01	GENERAL	FTS	1/1/13	4/11/15	830		6.6
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0

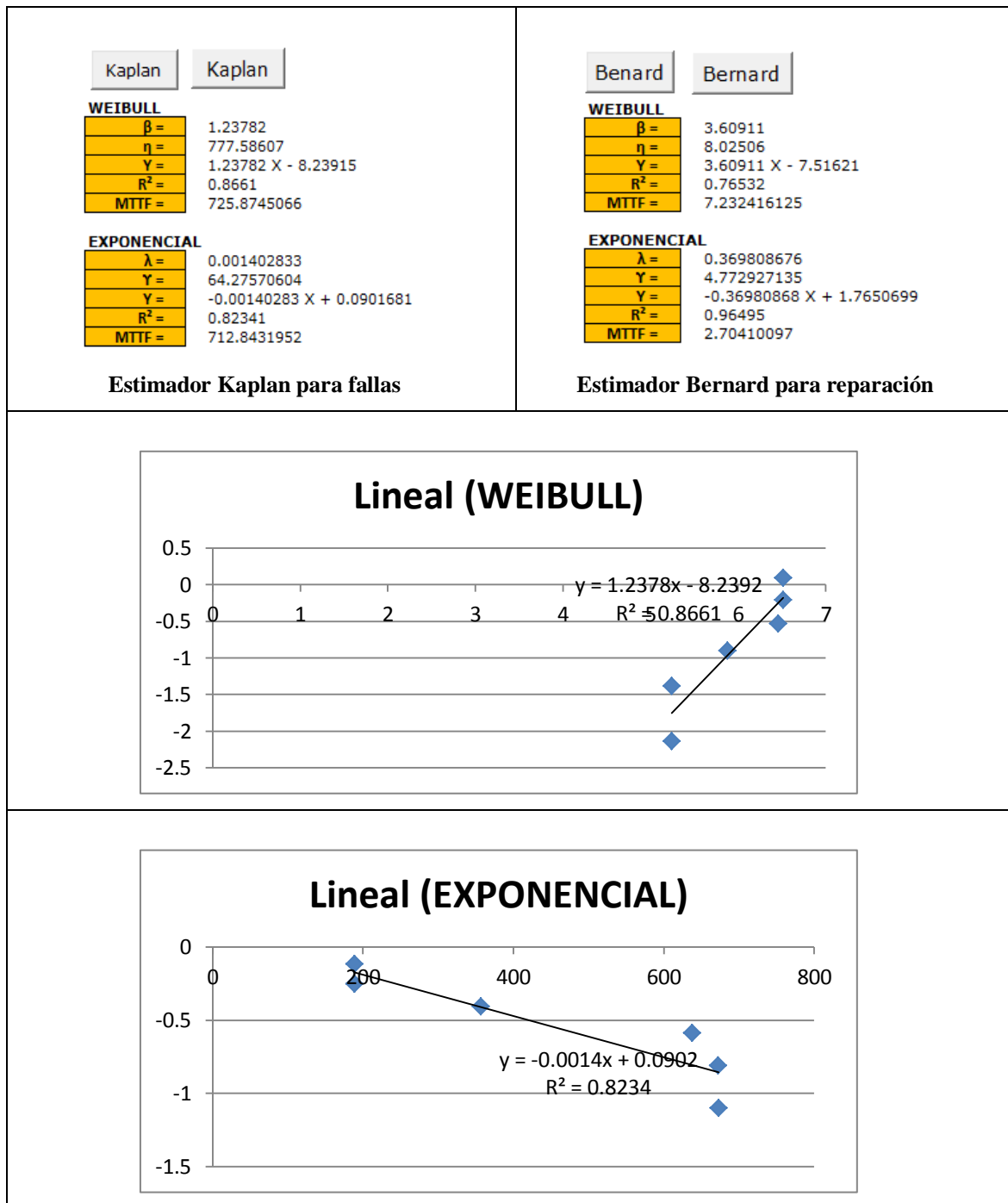
Anexo 3.D Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-001I-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-001I-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-025-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TPP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

**Anexo 4.D, Arrancadores suaves:** unidades antiguas que requieran operar motores con potencias superiores a 500 hp utilizan arrancadores suaves.

Se observa que en el periodo evaluado de 940 días, de 9 (nueve) registros encontrados, 3 (tres) unidades no han presentado falla alguna y se considera como datos censurados, 06 (seis) unidades que han presentado falla se consideran como datos válidos.



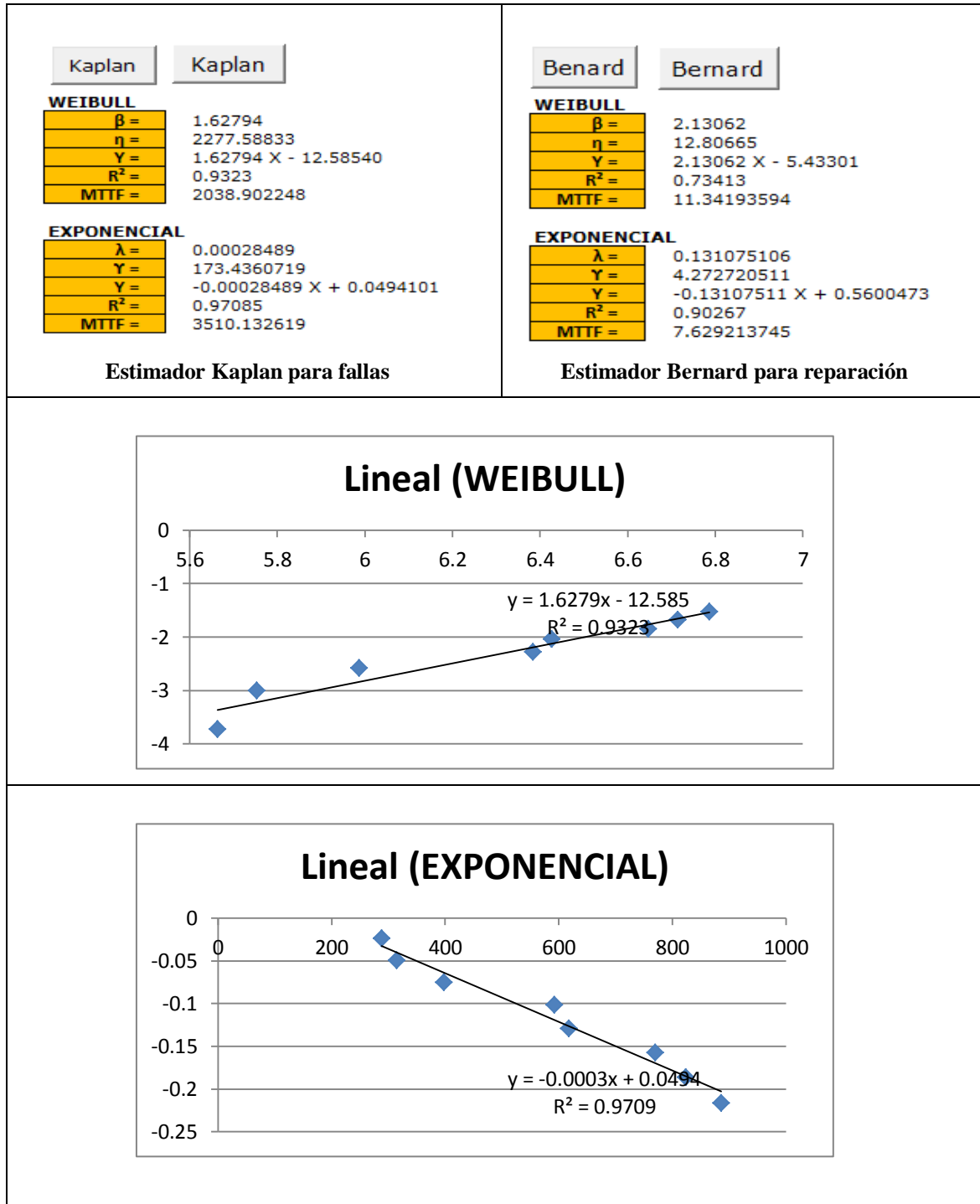
Realizado por: Arias, José, 2015.

Anexo 4.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, arrancador suave.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140707061	CAMBIO DE BREAKER 400 AMP DE BOMBA N° 02 EN TABLERO DE RYA EST TTT	CP-0297	TTP-BRA-SBRA-01	BREAKINTE RR	OTH	8/7/14	7/30/15	357		5.0
OT-140904586	REPARACION DE ARRANCADOR DE BOMBA N° 02	SS-0121	ATC-001-BRA-SBRA-02	STSOME	LOR	1/1/13	10/1/14	638		24.5
OT-141041499	ARRANCADOR SS-0011: REPARACION Y PUESTA EN SERVICIO	SS-0011	ATC-003I-BRA-SBRA-01	STSOME	PWRSP	1/1/13	11/4/14	672		28.0
OT-141043565	OS-114723-BAKER HUGHES-201411-INSPECCION DEL ARRANCADOR DE LA UNIDAD HPS #1	SS-0011	ATC-003I-BRA-SBRA-01	STSOME	PWRSP	1/1/13	11/5/14	673		5.5
OT-150086706	PBA-13718-(SS-0011)-BAKER HUGHES REPARACION ARRANCADOR BOMBA HPS	SS-0011	ATC-003I-BRA-SBRA-01	STSOME	PWRSP	1/22/15	7/30/15	189		7.7
OT-150392006	REPARACION Y CONFIGURACION DE PROTECCIONES	SS-0121	ATC-001-BRA-SBRA-02	VSD	ERO	10/1/14	4/8/15	189		28.0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0

Realizado por: Arias, José, 2015.

**Anexo 5.D, Motores eléctricos:** en el periodo de 940 días, de cuarenta y dos registros analizados, treinta y tres motores no han presentado falla alguna, un motor solo una falla, se consideran como datos censurados, los motores que han presentado más de una falla y superan el periodo de evaluación final se consideran como datos válidos.



Realizado por: Arias, José, 2015.

Anexo 5.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, motores eléctricos.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-150027414	REPARACION; CAMBIO RODAMIENTOS MOTOR.	MEL-0613	TPP-BRA-SBBB-02	EMAC	VIB	1/1/13	2/10/15	770		8
OT-140860722	MEL-1106: CAMBIO DE VENTILADOR	MEL-1100	SRP-BRA-SBRA-01	EMAC	OTH	9/18/14	7/30/15	315		7
OT-140939241	MEL-1946: MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE RODAMIENTO	MEL-1946	FRP-BRA-SBBB-02	EMAC	VIB	10/13/14	7/30/15	290	X	9
OT-140952275	MEL-2679: CAMBIO DE RODAMIENTOS	MEL-2679	FRP-BRA-SBBB-01	EMAC	VIB	10/15/14	7/30/15	288		11
OT-140563011	MEL-3690 MANTENIMIENTO CORRECTIVO MOTOR ELECTRICO 800 HP UNIDAD HPS RYA NO.3	MEL-3690	SCY-0011-BRA-SBRA-03	EMAC	VIB	6/27/14	7/30/15	398		20
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TTP-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA			SIN FALLA	SIN FALLA					

Anexo 5.D Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
SIN FALLA	SIN FALLA		ATC-001-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATC-003I-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-001I-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-025-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-025-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SCY-025-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TPP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TPP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		TPP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SYP-PTA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SYP-PTA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SYP-PTA-SBBB-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	2/24/13	7/30/15	886		0
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	4/27/13	7/30/15	824		0
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	11/19/13	7/30/15	618		0
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	12/15/13	7/30/15	592		0

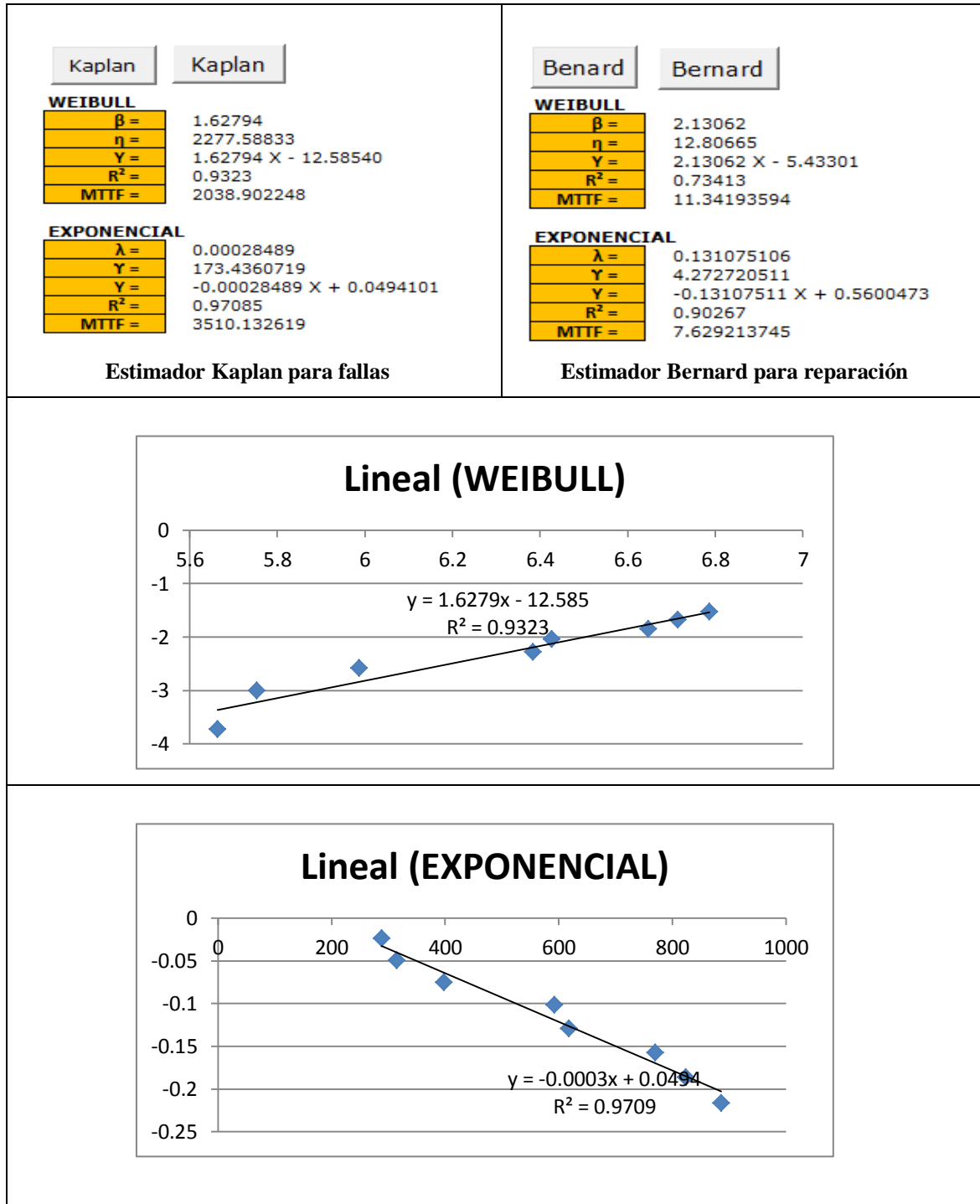
Anexo 5.D Continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SHH-003-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		SRP-BRA-SBRA-04	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBBB-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-03	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		PCP-BRA-SBRA-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATP-BRA-SBBT-02	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATP-BRA-SBBT-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATC-001-BRA-SBBB-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0
SIN FALLA	SIN FALLA		ATC-001-BRA-SBRA-01	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0

Realizado por: Arias, José, 2015.



**Anexo 6.D, Válvulas:** en el periodo de 940 días, de un total de cuarenta y seis sistemas analizados apenas en cuatro de ellos no ha fallado ninguna válvula por lo que se consideran como datos censurados y cuarenta y dos datos son tratados como válidos.



Realizado por: Arias, José, 2015.

Anexo 6.D: Registros de órdenes de trabajo, software Máximo para Oil&Gas, válvulas.

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140931053	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA DE DESCARGA	PCF-0913	PCP-BRA-SBRA-02	PUCEWI	OTH	1/1/13	10/10/14	647		4.1
OT-140930980	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA DE DESCARGA	PCF-0914	PCP-BRA-SBRA-01	PUCEWI	OTH	1/1/13	10/10/14	647		4.1
OT-140308556	PCF-0926 CAMBIO DE VALVULA BLOK Y DE COMPUERTA	PCF-0926	TTP-BRA-SBRA-01	VABA	OTH	1/1/13	4/18/14	472		6.0
OT-150398144	PCF-0971; CAMBIAR DE VALVULA CHECK DEL SISTEMA DE REINYECCION	PCF-0971	SRP-BRA-SBRA-02	PUCEWI	ELU	1/1/13	4/16/15	835		6.1
OT-150700973	PCF-1023; CAMBIO DE VALVULA DE DESAIREACION	PCF-1023	PCP-BRA-SBRA-01	PUCEWI	INL	1/1/13	6/30/15	910		4.0
OT-140147408	CAMBIO DE VALVULA BLOCK	TCH-0036	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	1/1/13	2/26/14	421		4.5
OT-140030602	CAMBIO DE VALVULA DE SUCCION 6X150		TPP-BRA-SBBB-02	VABAWI	PLU	1/1/13	1/12/14	376		5.4
OT-140056788	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA PRINCIPAL		PCP-BRA	VASCWI	OTH	1/1/13	1/25/14	389		4.5
OT-140132047	CAMBIO DE VALVULAS DEL SITEMA DE REINYECCION DE AGUA		PCP-BRA	VABAWI	OTH	1/1/13	2/21/14	416		11.5
OT-140147408	CAMBIO DE VALVULA BLOCK	TCH-0036	SCY-025-BRA-SBRA-01	PUCTP	LBP	1/1/13	2/26/14	421		4.5
OT-140188538	INSTALACION DE VALVULA DE BOLA DE 4 x 300 EN LINEA DE SUCCION		ATC-001-BRA-SBRA-02			1/1/13	3/8/14	431		6.5
OT-140213123	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA DE DESCARGA		SRP-BRA-SBRA-03	VAOH	OTH	1/1/13	3/19/14	442		3.0

Anexo 6.D continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-140223502	CAMBIO DE VALVULA CHECK EN LINEA DE DESCARGA		SRP-BRA-SBRA-03	VAOH	OTH	1/1/13	3/20/14	443		4.0
OT-140308556	PCF-0926 CAMBIO DE VALVULA BLOK Y DE COMPUERTA	PCF-0926	TTP-BRA-SBRA-01	VABA	OTH	1/1/13	4/18/14	472		6.0
OT-140308715	PCF-0110 CAMBIO DE VALVULA CHECK DE 3X150 Y VALVULA BLOCK DE 4X4X150	PCF-0110	PCP-BRA-SBBB-02	VACH	OTH	1/1/13	4/19/14	473		6.0
OT-140309111	PCF-0122 CAMBIO DE VALVULA CHECK DE 3X150 Y VALVULA BLOCK DE 4X4X150	PCF-0122	PCP-BRA-SBBB-01	VACH	ELP	1/1/13	4/18/14	472		6.0
OT-140420320	PCF-1011 MONTAGE DE VALVULA 4"X1500		FRP-BRA-SBRA-02	PUCEWI		1/1/13	5/26/14	510		6.2
OT-140455753	CAMBIO DE VALVULAS EN EL SISTEMA DE REINYECCION DE LA ESTACION		SRP-BRA			1/1/13	6/6/14	521		2.0
OT-140639213	CAMBIO DE VALVULA CHECK EN LA DESCARGA DE LA UNIDAD HPS DE RYA.		SCY-0011-BRA-SBRA-02	GENERAL	OTH	1/1/13	7/16/14	561		4.3
OT-140648859	OS-121711-RECTILAB-20140623-REPARACION DE VALVULA CHECK 4 x 1500. OT-034		FRP-BRA-SBRA-01	VACH	ELU2	1/1/13	6/23/14	538		3.5
OT-140648889	OS-121711-RECTILAB-20140714 REPARACION DE VALVULA CHECK 4 x 1500. OT-031		SCY-0011-BRA-SBRA-02			1/1/13	7/14/14	559		9.5
OT-140913845	CAMBIO DE VALVULAS DE 8" X 150 PSI Y 6" X 150 PSI EN LINEAS DE SUCCION		PCP-BRA	VACH	OTH	1/1/13	10/4/14	641		3.1
OT-140930980	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA DE DESCARGA	PCF-0914	PCP-BRA-SBRA-01	PUCEWI	OTH	1/1/13	10/10/14	647		4.1
OT-140931053	CAMBIO DE VALVULA EN LINEA DE DESCARGA	PCF-0913	PCP-BRA-SBRA-02	PUCEWI	OTH	1/1/13	10/10/14	647		4.1

Anexo 6.D continúa...

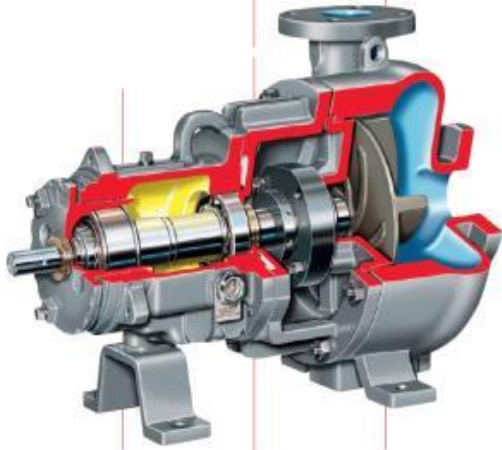
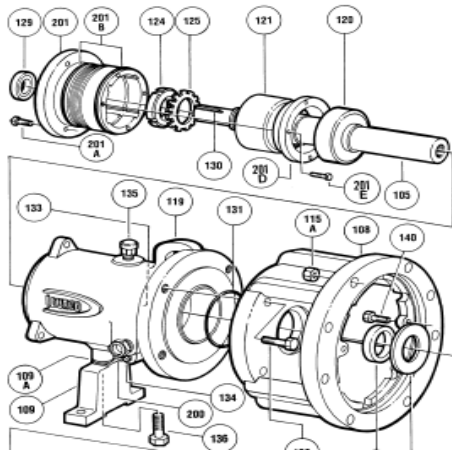
WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-141077503	CAMBIO DE RING GASKET EN BRIDA DE VALVULA CHECK EN LINEA DE DESCARGA		PCP-BRA-SBRA-03	VASCWI	ELU	1/1/13	11/15/14	683		5.0
OT-141168481	CAMBIO DE VALVULAS CHECK Y BLOCK.		SCY-025-BRA	VAOH	INL1	1/1/13	12/12/14	710		9.0
OT-150022867	CAMBIO DE VALVULAS BLOCK Y CKECK		ATC-001-BRA			1/1/13	1/6/15	735		11.0
OT-150027467	CAMBIAR VALVULA DE 6X150	PCF-0502	TPP-BRA-SBBB-01	PUCE		1/1/13	1/9/15	738		7.4
OT-150029723	CAMBIAR VALVULA CHECK 4 x 900 LINEA DE DESCARGA		SRP-BRA-SBRA-02	VACH	ELU2	1/1/13	1/9/15	738		10.0
OT-150101062	HPS 02 DESMONTAJE DE VALVULAS 4X2500 PARA INSPECCION		ATC-001-BRA-SBRA-02	PUROWI	OTH	1/1/13	1/27/15	756		9.0
OT-150101074	HPS 01 CAMBIO DE VALVULA DE 4X300		ATC-001-BRA-SBRA-01	PUROWI	OTH	1/1/13	1/27/15	756		5.0
OT-150112490	HPS 02 MONTAJE DE VALVULAS BLOCK 4X2500 Y CHECK 4X1500		ATC-001-BRA-SBRA-02	VAOH	ELU2	1/1/13	2/1/15	761		11.0
OT-150114411	OS-121393-SMI-201501-REPARAR VALVULA CHECK DE 3" X 1500 psi OT-156		TPP-BRA	VACH	LCP	1/1/13	1/16/15	745		3.0
OT-150398144	PCF-0971; CAMBIAR DE VALVULA CHECK DEL SISTEMA DE REINYECCION	PCF-0971	SRP-BRA-SBRA-02	PUCEWI	ELU	1/1/13	4/16/15	835		6.1
OT-150469797	CAMBIO DE VALVULA DE 3X2500 EN LINEA DE DESCARGA		SHH-003-BRA-SBRA-02	GENERAL	ELU	1/1/13	5/2/15	851		5.3
OT-150500937	REVISION VALVULA CHECK 4"X150 LINEA DE DESCARGA	PCF-0123	TTP-BRA-SBBB-02	PUCE		1/1/13	5/10/15	859		6.0
OT-150642099	CAMBIO DE VALVULAS EN LINEA DE DESCARGA		PCP-BRA-SBRA-03	VABA	INL1	1/1/13	6/15/15	895		6.2

Anexo 6.D continúa...

WONUM	DESCRIPTION	TAG PAM	LOCATION	FAILURE CLASS	PROBLEM	INICIA PRUEBA	FINAL PRUEBA	TTF d	Censura	TTR h
OT-150653024	CAMBIAR VALVULA DE BOLA 4X150		SHH-003-BRA-SBBB-02			1/1/13	6/17/15	897		3.9
OT-150700973	PCF-1023; CAMBIO DE VALVULA DE DESAIREACION	PCF-1023	PCP-BRA-SBRA-01	PUCEWI	INL	1/1/13	6/30/15	910		4.0
OT-150713334	PCF-0864 CAMBIO DE VALVULA DE 6X150 EN LINEA DE SUCCION	PCF-0864	TTP-BRA-SBRA-03	PUCEWI	INL	1/1/13	7/3/15	913		6.5
OT-150737272	CAMBIAR VALVULA CHECK EN LINEA DE DESCARGA		TTP-BRA-SBRA-03	VACHWI	LCP	1/1/13	7/8/15	918		5.6
SIN FALLA	SIN FALLA		ATP-BRA	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0
SIN FALLA	SIN FALLA		SYP-BRA	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0
SIN FALLA	SIN FALLA		FRP-BRA	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0
SIN FALLA	SIN FALLA		TPP-BRA	SIN FALLA	SIN FALLA	1/1/13	7/30/15	940	X	0.0

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

**ANEXO E: Formatos de código de falla, norma ISO 14224:2006 (p.112 p.128)**

<b>BOMBAS CENTRIFUGAS ALIMENTADORAS (BOOSTER)</b>			
TAG	PCF-0115	SISTEMA	BRA
MODELO	6X4X10 / 9,5	FAILURE CLASS	PUCEWI
 <p>FUENTE: Catálogo Flowserve.</p>		 <p>FUENTE: Manual Flowserve.</p>	
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema			Problem.
Máximo Oil&Gas			Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar la bomba)			FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener bomba o proceso)			STP
Falsa parada (interrupción inesperada de la bomba)			SPS
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)			BRD
Energía de salida alta (Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado)			HIO
Energía de salida baja (Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado)			LOO
Salida errática (Presión/flujo oscilante o inestable)			ERO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)			ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)			ELU
Fuga interna (ej. Producto de procesamiento (agua) en el aceite lubricante)			INL
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)			VIB
Ruido (Ruido excesivo)			NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 90 °C			OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)			AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas en el soporte o suspensión)			STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.

CAMARA DE EMPUJE PARA BOMBA MULTITETAPA			
TAG	PCF-XXX	SISTEMA	BRA
MODELO	88 A,G3	MARCA	SLB, BAKER, GE.
FAILURE CLASS	PUCEWI	TIPO DE ACEITE	ISO VG 68
CAMARA DE EMPUJE (THRUST CHAMBER)			
			
FUENTE: <a href="http://sherwenhoss.com/images/pump/400-chamber.jpg">http://sherwenhoss.com/images/pump/400-chamber.jpg</a>			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas			Problem. Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar la bomba)			FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener bomba o proceso)			STP
Falsa parada (interrupción inesperada de la bomba)			SPS
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)			BRD
Energía de salida alta (Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado)			HIO
Energía de salida baja (Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado)			LOO
Salida errática (Presión/flujo oscilante o inestable)			ERO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)			ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)			ELU
Fuga interna (ej. Producto de procesamiento (agua) en el aceite lubricante)			INL
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)			VIB
Ruido (Ruido excesivo)			NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 90 °C			OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)			AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas en el soporte o suspensión)			STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

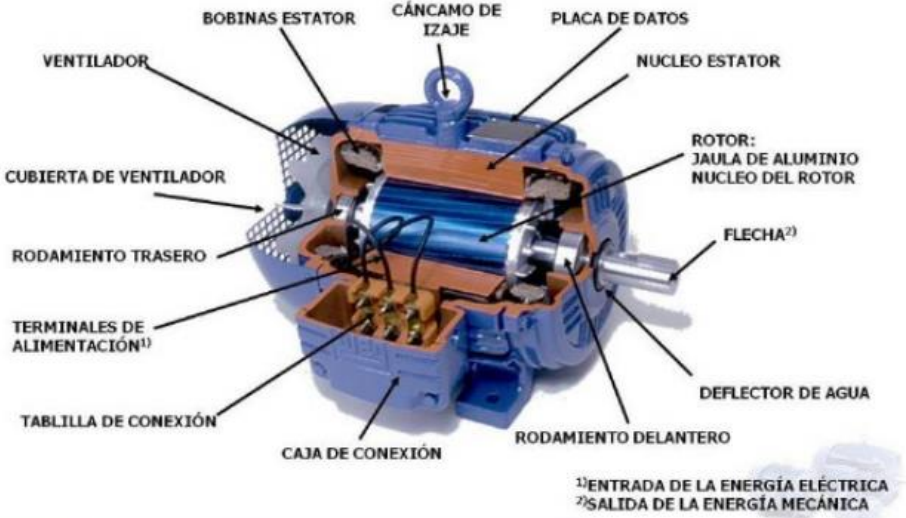
Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.



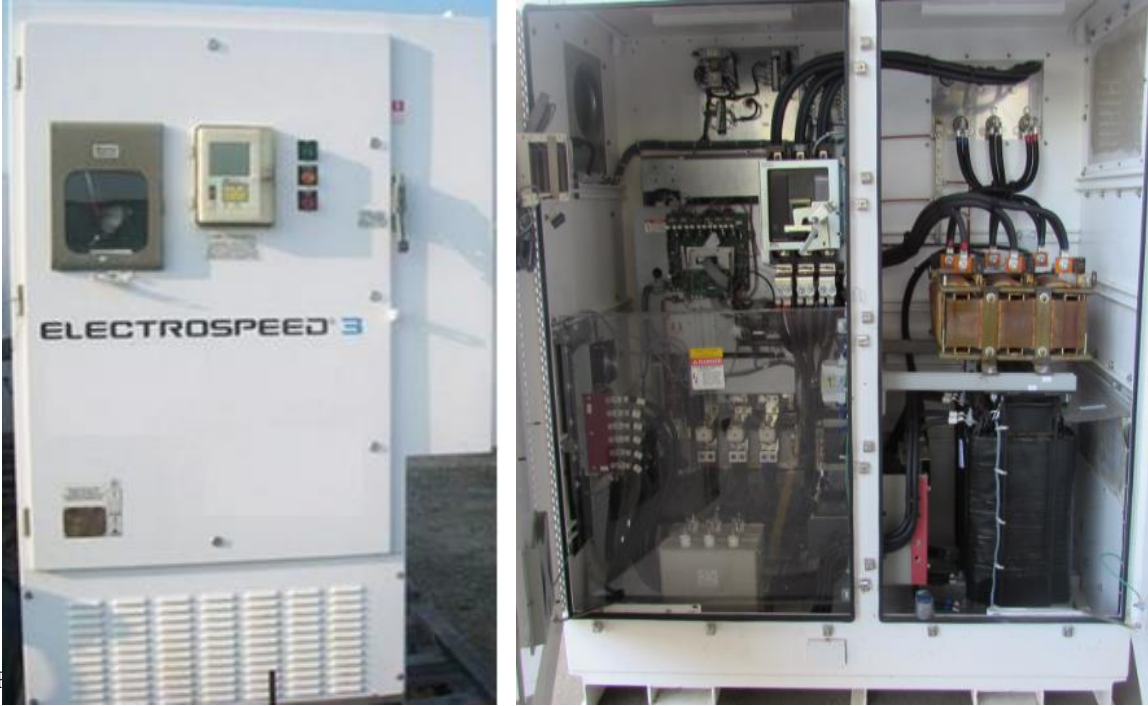
BOMBAS HORIZONTALES MULTIETAPA			
TAG	PCF-0115	SISTEMA	BRA
MODELO	HCNXXX, GNXXX	MARCA	SLB,G&E, CENTRILIFT
FAILURE CLASS	PUCEWI	NUMERO DE ETAPAS	XX
MODELO: BOMBA MULTIETAPA TIPICA 			
FUENTE: <a href="http://assets.cmp.bh.mxmcloud.com/...902e/HPump_1.jpg">http://assets.cmp.bh.mxmcloud.com/...902e/HPump_1.jpg</a>			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas			Problem. Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar la bomba)			FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener bomba o proceso)			STP
Falsa parada (interrupción inesperada de la bomba)			SPS
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)			BRD
Energía de salida alta (Presión/flujo de la energía de salida por encima de lo especificado)			HIO
Energía de salida baja (Presión/flujo de la energía de salida por debajo de lo especificado)			LOO
Salida errática (Presión/flujo oscilante o inestable)			ERO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)			ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)			ELU
Fuga interna (ej. Producto de procesamiento (agua) en el aceite lubricante)			INL
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)			VIB
Ruido (Ruido excesivo)			NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 90 °C			OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)			AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas en el soporte o suspensión)			STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.



MOTOR ELECTRICO DE CORRIENTE ALTERNA			
TAG	MEL-XXXX	SISTEMA	BRA
FRAME	445TS	VELOCIDAD DE GIRO	3750 rpm
FAILURE CLASS	EMACWI	POTENCIA (hp)	
<p>MODELO: MOTOR TRIFASICO</p> 			
FUENTE: <a href="http://www.wegmotorsales.com">http://www.wegmotorsales.com</a>			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema			Problem.
Máximo Oil&Gas			Code
No se activa al momento de encender (incapacidad para activar el motor)			FTS
No se detiene al momento de apagar (incapacidad para detener el motor o proceso)			STP
Falsa parada (interrupción inesperada del motor)			SPS
Opera sin activar (Arranque no deseado)			OWD
Daños graves (rigidez de movimiento, roturas, explosión, etc)			BRD
Energía de salida alta (energía de salida por encima de lo especificado)			HIO
Energía de salida baja (Velocidad baja o a energía de salida por debajo de lo especificado)			LOO
Salida errática (oscilante)			ERO
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc)			ELU
Vibración (vibración excesiva) mayor a 0.28 inch/s. (rms)			VIB
Ruido (Ruido excesivo)			NOI
Sobrecalentamiento (temperatura excesiva) mayor a 100 °C			OHE
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (Falsa alarma, lectura errónea)			AIR
Deficiencia estructural (ej. Roturas, desgaste, fracturas, etc.)			STD
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK


Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.

VARIADORES DE FRECUENCIA (VELOCIDAD)			
MODELO		MARCA	3750 rpm
FAILURE CLASS	VSD	POTENCIA (KVA)	
MODELO: VARIADOR DE FRECUENCIA			
			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas			Problem. Code
Fusibles de Potencia abiertos			PWRFS
Falla de la tarjeta inversora VSD SS2K/SWD			INV2K
Falla de la sección conversor en Corriente Directa VSD SS2K/SWD			CONV2K
Ventilador quemado			BURNMOTO R
Salida errada			ERO
Contactor de variador en falla			CONTVSD
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.

ARRANCADOR SUAVE PARA MOTORES SUPERIORES A 200 HP.			
MODELO	ARRANCADOR	MARCA	BENSHAW,OTROS
FAILURE CLASS	STSOME	POTENCIA (KVA)	500-1000
MODELO: ARRANCADOR SUAVE			
			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema			Problem.
Máximo Oil&Gas			Code
Pérdida de redundancia			LOR
Fuente de poder			PWRSP
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.

VALVULAS UTILIZADAS EN SPROCESO REINYECCION DE AGUA			
MODELO	4X150, 6X1500...	SISTEMA	BRA
FAILURE CLASS	V. BOLA: VABA. V. MARIPOSA: VABP.	V. COMPUERTA: VAGA.	V. CHECK: VACH
MODELO: VALVULAS: BOLA, MARIPOSA, COMPUERTA Y CHECK			
			
FUENTE: <a href="http://oilservicescompany.com/...alvula-mariposa1.jpg">http://oilservicescompany.com/...alvula-mariposa1.jpg</a>			
Modos de falla ISO 14224 que deben ser codificados en orden de trabajo correctivas del sistema Máximo Oil&Gas			Problem. Code
No se cierra cuando se da la orden (se atasca abierta o no cierra completamente) <sup>3</sup>			FTC
No se abre cuando se da la orden (se atasca cerrada o no abre completamente) <sup>1</sup>			FTO
No regula flujo (Válvula “atascada” (solo aplica para válvulas de control) <sup>1</sup>			FTR
Opera sin activar (Cierre/apertura no deseados) <sup>1</sup>			OWD
Operación retrasada (tiempo de apertura/cierre diferente al de la especificación) <sup>1</sup>			DOP
Energía de salida alta (regulación defectuosa, solo para válvulas de control) <sup>1</sup>			HIO
Energía de salida baja (regulación defectuosa, solo para válvulas de control) <sup>1</sup>			LOO
Fuga externa del producto de procesamiento (ej. agua de formación)			ELP
Fuga externa del producto útil del equipo (ej. Aceite lubricante, refrigerante, grasa, etc.)			ELU
Fuga interna del fluido de actuación, o comunicación válvula-actuador			INL
Fuga en la posición cerrada (fuga de la válvula en la posición cerrada)			LCP
Atascado/estrangulado (restricción parcial o total del flujo)			PLU
Deficiencia estructural (ej. Menor integridad debido a impacto, corrosión inaceptable)			STD
Desviación de parámetros (parámetros monitoreados que excede el nivel de tolerancias)			PDE
Lectura anormal del instrumento (ej. Indicación de posición defectuosa)			AIR
Problemas menores durante el funcionamiento (partes sueltas, decoloración, suciedad, etc)			SER
Otros ( se debe especificar en la celda comentarios y detallar en la OT de Máximo)			OTH
Desconocido ( sin información disponible) (no se recomienda)			UNK

Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.

<sup>3</sup> Especialmente aplica para válvulas de control

## ANEXO E.1, Codificación de orden de trabajo en Máximo Oil&Gas.

Para codificar una Orden de trabajo en máximo se debe realizar de la siguiente manera.

TAG EQUIPO	TIPO DE MANTENIMIENTO	PALABRA CLAVE <sup>4</sup>	ELEMENTO (tratar estandarizar)	FALLA (texto libre)
PCF-0214	MP, MC, RRR...	Reemplazar	SELLO MECANICO	POR FUGA DE PETROLEO

Actividad de mantenimiento. Doce categorías de actividad de mantenimiento para ser utilizados en bases de datos para máximo Oil & Gas, tanto para mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

Tabla B.5 Actividad de mantenimiento ISO 14224:2006.

No.	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso <sup>a</sup>
1	Reemplazar	Reemplazo del aparato por uno nuevo, o repotenciado, del mismo tipo y marca	Reemplazo de un cojinete desgastado	C,P
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un aparato a su apariencia y estado originales	Volver a empacar, soldar, taponear, reconectar, rehacer, etc.	C
3	Modificar <sup>b</sup>	Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de él, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño	Reemplazar, renovar o cambiar el aparato, o parte de él, con un aparato/parte de diferente tipo, marca, material o diseño	C
4	Calibrar	Hacer que alguna condición que está fuera de tolerancia se encuentre dentro del rango de tolerancia	Alinear, programar y reprogramar, calibrar, balancear	C
5	Montar	Actividades de reparaciones/servicios menores para mejorar la apariencia interna y externa de un aparato	Pulir, limpiar, esmerilar, pintar, revestir, lubricar, cambiar aceite, etc.	C
6	Verificar <sup>c</sup>	La causa de una avería es investigada, pero no se realiza ninguna acción de Mantenimiento, o se posterga la acción. Es posible que pueda funcionar nuevamente con acciones simples como, por ejemplo, reiniciar o reprogramar	Reiniciar, reprogramar, etc. particularmente para averías funcionales como por ejemplo en los detectores de incendios y gas	C
7	MP	Tareas periódicas de mantenimiento. Normalmente no es necesario desmantelar el aparato	Por ejemplo, limpieza, reabastecimiento de insumos, ajustes y calibraciones	P

<sup>4</sup> Tabla B.5 Actividades de mantenimiento.

Tabla B.5Continúa...

No.	Actividad	Descripción	Ejemplos	Uso <sup>a</sup>
8	Probar	Pruebas periódicas de la disponibilidad de funciones	Prueba de funciones de la bomba contra incendios, detectores de gas, etc.	P
9	Monitoreo	Inspecciones/verificaciones periódicas. Cuidadoso escrutinio de un aparato con o sin desmantelamiento, normalmente con el uso de los sentidos	Todos los tipos de verificaciones generales. El mantenimiento general se incluye como parte de tareas de inspección	P (C)
10	Overhaul	Reparación mayor	Inspección/reacondicionamiento integral con desarmado y reemplazo de aparatos según se especifique o requiera	C,P
11	Combinar	Se incluyen varias de las actividades arriba descritas	Si una actividad es la que domina, esta podría ser registrada	C,P
12	Otros	Actividad de mantenimiento que no sea la especificada anteriormente		C,P

<sup>a</sup> C = usada típicamente en mantenimiento correctivo, P = usada típicamente en mantenimiento preventivo

<sup>b</sup> La modificación no se define como una categoría de mantenimiento, pero a menudo se lleva a cabo por personas capacitadas en las disciplinas de mantenimiento.

La modificación, en gran medida puede tener influencia en el funcionamiento y la fiabilidad de una unidad de equipo.

<sup>c</sup> 'Verificación' incluye aquellas circunstancias donde se reveló la causa, pero no se consideró necesario tomar una acción, y aquellas donde no se encontró una causa para la avería.

*Fuente: ISO 14224, 2006, Realizado por: Arias, José, 2015.*

Para el mantenimiento correctivo, esta información describe el tipo de medidas de restablecimiento que se realizó, en general, la actividad de restauración predominante debe codificarse cuando varias actividades están involucradas.

La categorías de código "reparar", "reemplazar", "revisión" y "modificar" debería tener una prioridad relativa a la categoría de código "reacondicionamiento" y "ajustar" cuando una combinación de las dos categorías están involucrados (por ejemplo, la reparación consiste en la "reparación "y" reacondicionamiento "debería codificarse como "reparaciones"). Si hay varias actividades de reparación involucrados, ninguno de los cuales es predominante, se puede usar el código "combinado".

**"Modificar"**: una modificación de la unidad de equipo original en el que el diseño original se ha alterado o el elemento en cuestión sustituido por uno construido de diferente tipo. Si la modificación es de carácter significativo, no se considera como una acción de mantenimiento, pero puede llevarse a cabo por, o en cooperación con, el personal de mantenimiento.

Una **"reparación"** está destinada a ser una acción para corregir un fallo único o unos pocos fallos, normalmente en el lugar.

**"Revisión"** significa una reparación integral de varios fallos, o una falla mayor (avería) que requieren trabajo extenso, o renovación completa de una subunidad equipo. Por lo general, dicho mantenimiento se lleva a cabo en un taller.

Si la unidad de equipo completa ha sido **reemplazada** con una nueva o una modificada, se recomienda reiniciar los parámetros de tiempo (por ejemplo, tiempo de funcionamiento) para esta unidad. Esto no se aplica si la unidad de equipo es de baja complejidad y un reemplazo completo se considera como una parte normal del mantenimiento.

Para el mantenimiento preventivo, esta información describe el tipo de acción preventiva que se realiza. En general, la actividad de mantenimiento más predominante debe codificarse cuando varias actividades están involucradas. Si no hay ninguna tarea predominante, de nuevo este debe codificarse como una información adicional **"Combinar"** en las diversas actividades que se enumeran en un campo de texto libre si se proporciona.

**NOTA:** Estos códigos de mantenimiento no lo hacen como tal (No detallan diversas actividades), por lo tanto, se debe reflejar la eficacia de la acción de mantenimiento en cuanto a la restauración de la condición del artículo (por ejemplo, la condición "buena como nueva o mala como viejo").

### **Calidad de la intervención de Mantenimiento**

Existen 5 condiciones después de una intervención.

1. Mejor que nuevo.
2. Tan bueno como nuevo.
3. Mejor que antes de fallar pero peor que nuevo.
4. Tan malo como antes de fallar.
5. Peor que antes de fallar

## ANEXO F: Tasa de fallos equipos, contexto operativo del B57 Libertador.

Anexo 1.F: Equipos con mejor ajuste para distribución estadística exponencial (1 parámetro).

EQUIPO	Failure Class	Mejor ajuste R(t) MTTF	R cuadrado	MTTF (días)	horas de trabajo	MTTF (h)	$\lambda$ REAL (h)	Mejor ajuste M(t). MTTR	MTTR
Cámara de empuje	PUCEWI	exponencial	0,97	407	24	9768	0,000102375	exponencial	2,98
Motor eléctrico	EMACEWI	exponencial	0,97	3510	24	84240	1,18708E-05	exponencial	7,6
Variador de frecuencia	VSD	exponencial	0,92	1249	24	29976	3,336E-05	exponencial	9,3

Anexo 2.F: Equipos con mejor ajuste para distribución estadística Weibull (2 parámetros).

EQUIPO	Failure Class	Mejor ajuste R(t) MTTF	R cuadrado	$\eta$ (días)	horas de trabajo	$\eta$ (horas)	$\beta$ (Weibull) (horas y días)	Mejor ajuste M(t). MTTR	MTTR
Arrancador suave	STSOME	Weibull	0,86	778	24	18672	1,237	exponencial	2,7
Bomba booster	PUCEWI	Weibull	0,91	848	24	20352	1,098	exponencial	29,8
Bomba HPS	PUCEWI	Weibull	0,94	1332	24	31968	1,944	exponencial	37,5
Válvulas	VAXXX	Weibull	0,92	754	24	18096	3,71	exponencial	2,58

Anexo 3.F: Equipos con mejor ajuste Weibull, tiempos hasta el fallo se puede utilizar como exponencial.

EQUIPO	Failure Class	Mejor ajuste R(t) MTTF	R cuadrado	MTTF (días)	horas de trabajo	MTTF (h)	$\lambda$ REAL (h)	Mejor ajuste M(t). MTTR	MTTR
Arrancador suave	STSOME	Weibull	0,86	726	24	17424	5,73921E-05	exponencial	2,7
Bomba booster	PUCEWI	Weibull	0,91	819	24	19656	5,08751E-05	exponencial	29,8
Bomba HPS	PUCEWI	Weibull	0,94	1182	24	28368	3,5251E-05	exponencial	37,5
Válvulas	VAXXX	Weibull	0,92	680	24	16320	6,12745E-05	exponencial	2,58

Realizado por: Arias, José, 2015.



## **ANEXO G: Informe de Tear Down (apertura), bombas HPS, estación Frontera.**

### **ANTECEDENTES.**

El día 30 de julio de 2014, se realizó desmontaje y traslado de bombas PCF-1011 y PCF-0877 desde la estación Frontera, unidad FRP-BRA-SBRA-02 hacia los talleres de Schulmerger en la ciudad de Coca.

El día 04 de agosto del 2014 se asiste a la apertura y revisión de las bombas (Tear Down), resultado de la inspección se presenta el siguiente informe.

### **OBJETIVOS.**

Evaluar la condición de las bombas horizontales PCF-1011 y PCF-0877, luego de los problemas presentados en la estación Frontera, (no levanta presión ni desplaza fluido)



Inspeccionar visualmente daños ocasionados en partes afectadas de las bombas luego de apertura en talleres de Schulmberger.

### **INFORME.**

Se realiza inspección de las unidades PCF-1011 y PCF-0877 en taller de Schulmberger donde se presentan las siguientes novedades:

#### **PCF-1011, S/N 2IB4D48348, CAF0138233, 36 STAGES, SEGMENTO #1**

ELEMENTO	DAÑO/ESTADO	REGISTRO FOTOGRAFICO
Cuerpo (exterior)	Observación. Buen estado	 Ilustración 1: Cuerpo S/N 2IB4D48348
Eje	Observación. Buen estado	 Ilustración 2: Eje S/N 2IB4D48348

Impulsores, Difusores	Observación. Con adherencia de Sedimento	 <p data-bbox="616 831 1190 860">Ilustración 3: Impulsor con sedimento de hidrocarburo</p>
Cabezal de la bomba (Hub)	Observación. Con adherencia de Sedimento	 <p data-bbox="616 1503 1174 1532">Ilustración 4: Cabezal con sedimento de hidrocarburo</p>


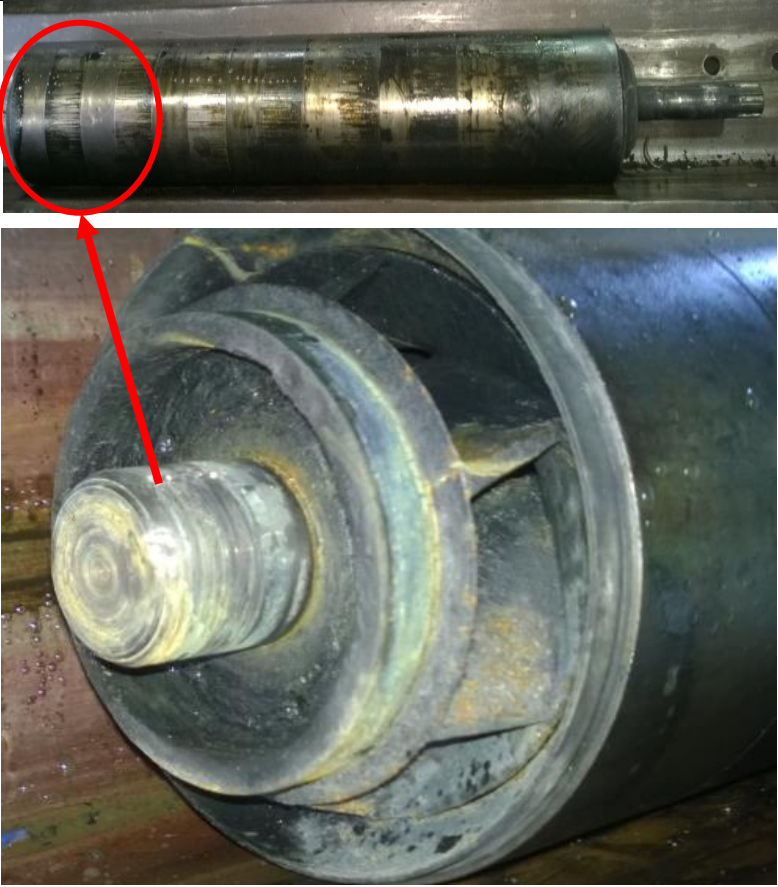

## RESUMEN HALLAZGOS

Se observa acumulación de sedimento tipo pasta (posible hidrocarburo), se evidencia obstrucción al giro libre de los impulsores, el sedimento es muy adherente.

Todos los impulsores y difusores están con acumulación de sedimento.

Eje y Carcasa en buenas condiciones.

**PCF-0877, S/N 2IB4D48338, CAF0138232, 54 STAGES, SEGMENTO #2**

ELEMENTO	DAÑO/ESTADO	REGISTRO FOTOGRAFICO
Cuerpo (exterior)	Observación. Buen estado	 Ilustración 5: Cuerpo S/N 2IB4D48338
Eje	Observación. Mal estado (Roto)	 Ilustración 6: Eje Roto S/N 2IB4D48338
Impulsores, Difusores	Observación. No se pudieron retirar de la carcasa	 Ilustración 7: Etapas remordidas

Cabezal de la bomba (Hub)	Observación. Con adherencia de Sedimento	 <p>Ilustración 8: Cabezal con sedimento de hidrocarburo</p>
---------------------------	--	--

*Realizado por: Arias, José, 2015.*

## RESUMEN HALLAZGOS

Se observa acumulación de sedimento tipo pasta (posible hidrocarburo), se evidencia obstrucción del giro del segmento del eje que está dentro de la carcasa, el sedimento es muy adherente.

Eje roto, no se puede desarmar impulsores ni difusores, están remordidos dentro de la carcasa.

## CONCLUSIONES.

PCF-1011, S/N 2IB4D48348, CAF0138233, 36 STAGES, SEGMENTO #1 reparación sin cambio de eje.

PCF-0877, S/N 2IB4D48338, CAF0138232, 54 STAGES, SEGMENTO #2 reparación completa incluye cambio de eje.

## RECOMENDACIONES.

Planificar conjuntamente con Tratamiento Químico la limpieza interna periódica (Mínimo semestral) de las bombas HPS, y los acumuladores de succión desde el tanque de Lavado.

Analizar con los departamentos involucrados la viabilidad para mantenimiento del tanque de lavado, para la eliminación parcial de sólidos y minimizar el problema.

**Realizado por: Ing. Confiabilidad**



# **ANEXO H: Informe de termografía, tanque de lavado, estación Secoya.**

REPORTES N°	UBICACIÓN	PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-005-2015	ESTACION SECOYA	N/D: INSPECCION			OT-150026255	
	TANQUE DE LAVADO T-0058					
ANÁLISIS REALIZADOS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE	<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO	<input type="checkbox"/>
	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO	<input type="checkbox"/>	CORRIENTES	<input type="checkbox"/>



**Ilustración 9: Tanque Lavado sedimentos 1,8 metros (6 ft) aproximados**



## **Resultados:**

**Tanque de Lavado:** Presencia de sedimentos alrededor de todo el tanque 1,8 metros (6 ft) en promedio.

Línea de Salida desde el Tanque de lavado hasta la planta de tratamiento de agua: No se observa presencia de sedimentos.

## **Recomendación:**

Realizar evacuación y tratamiento de sedimentos tan pronto como sea posible.

## ANEXO I: Informe de termografía, equipos estación Shuara.

REPORTE N°	UBICACIÓN			PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-129-2015	ESTACION SHUARA			N/D: INSPECCION			OT-150775131	
	TANQUE DE LAVADO T-0058							
ANÁLISIS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE		<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO		<input type="checkbox"/>
REALIZADOS	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO		<input type="checkbox"/>	CORRIENTES		<input type="checkbox"/>

**ANTECEDENTES:** En termografía del 08 de marzo del 2014 se realizó esta termografía “PAM-EP-LI PME-2014-TER-003-SHUARA”, Actualmente se requiere actualizar esta termografía.



Ilustración 10: Tanque de pulido T-0631 CAF 147703 sedimentos 1,8 metros (6 ft) **MARZO 2014**

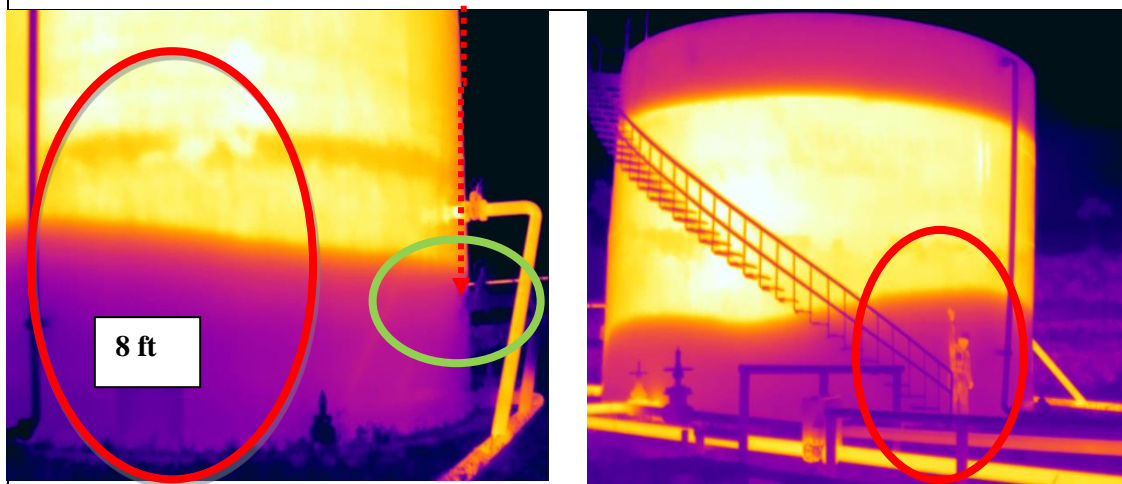


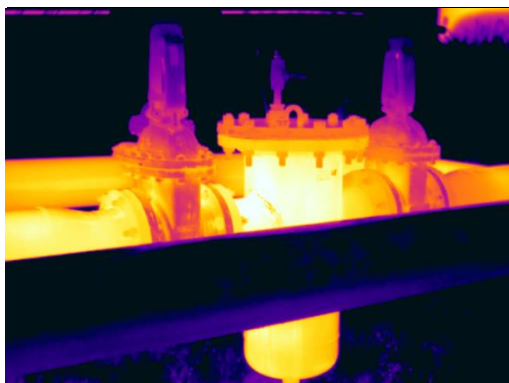
Ilustración 2: Nivel de sedimentos de una persona de 1,70 cm con la mano levantada (7-8 ft) **JULIO 2015**

### RESULTADOS DE LA TERMOGRAFIA

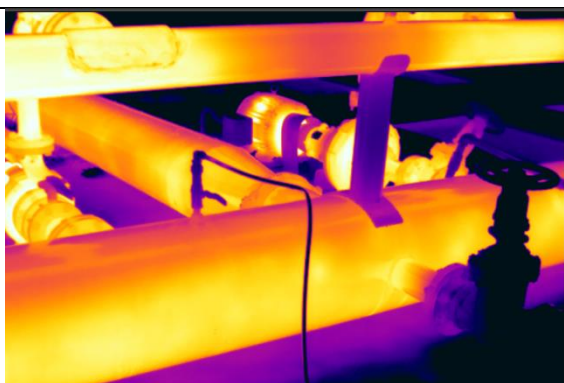
**Tanque de pulido T-0631.** En un año 4 meses se ha incrementado el nivel de sedientos en 2 pies aproximadamente, a julio del 2015 se encuentra en 8 ft

Fue necesario realizar otra toma adicional para la succión de las bombas para reinyección.

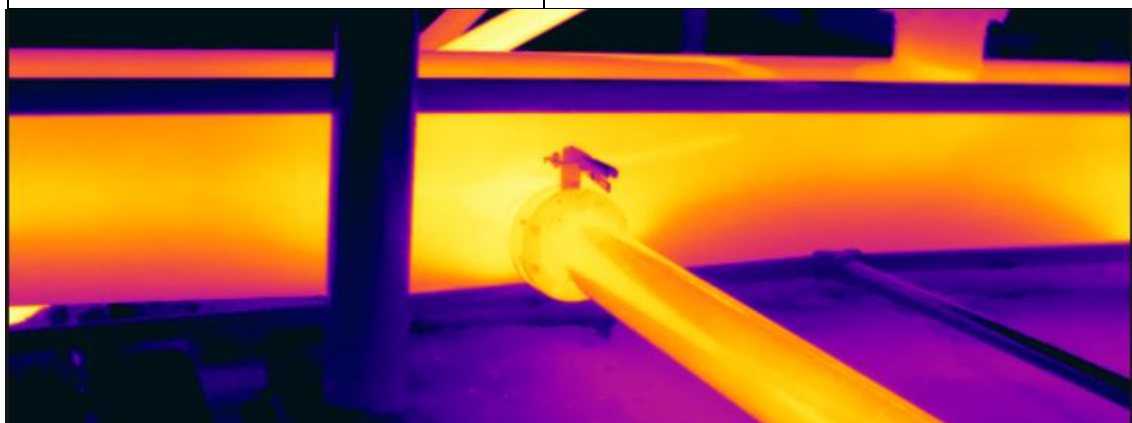
REPORTE N°	UBICACIÓN	PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-129-2015	ESTACION SHUARA	N/D: INSPECCION			OT-150775131	
	ACUMULADORES Y FILTROS					
ANÁLISIS REALIZADOS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE	<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO	<input type="checkbox"/>
	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO	<input type="checkbox"/>	CORRIENTES	<input type="checkbox"/>



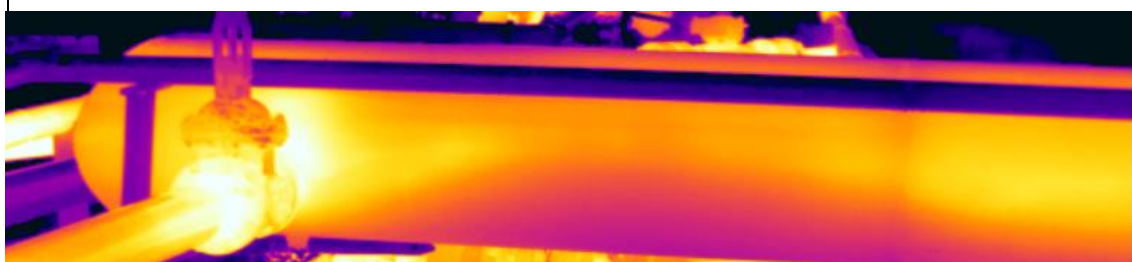
**Ilustración 3: Filtros de succión con by pass,**



**Lustración 4:Acumulador de succión booster**



**Ilustración 5: Acumulador succión HPS 1 y2**



**Ilustración 6: Acumulador succión HPS 3 y 4.**

## RESULTADOS DE LA TERMOGRAFIA

**Filtro.**-Se evidencia filtros con by pass por no soportar cantidad de sedimentos.

**Pulmones.**-Se evidencia diferencia de temperaturas por posible acumulación de sedimento a perdida de espesor de la tubería.



REPORTE N°	UBICACIÓN			PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-129-2015	ESTACION SHUARA			N/D: INSPECCION			OT-150775131	
	BOMBAS HPS							
ANÁLISIS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE		<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO		<input type="checkbox"/>
REALIZADOS	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO		<input type="checkbox"/>	CORRIENTES		<input type="checkbox"/>

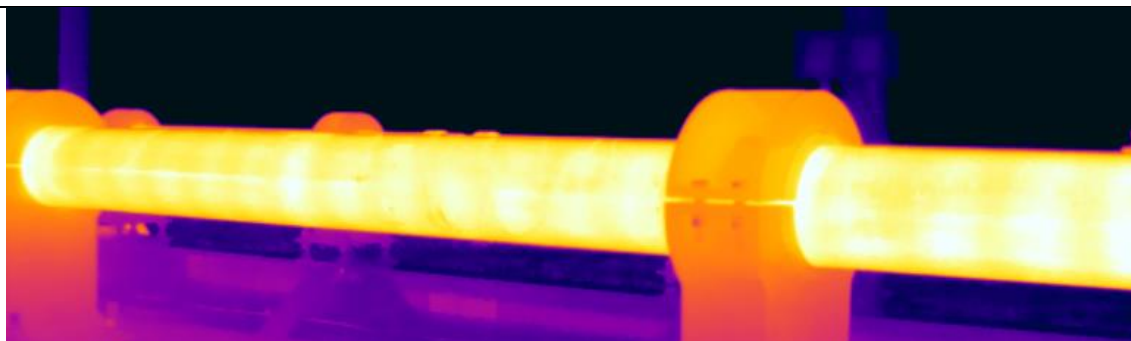


Ilustración 7: Bomba HPS #3

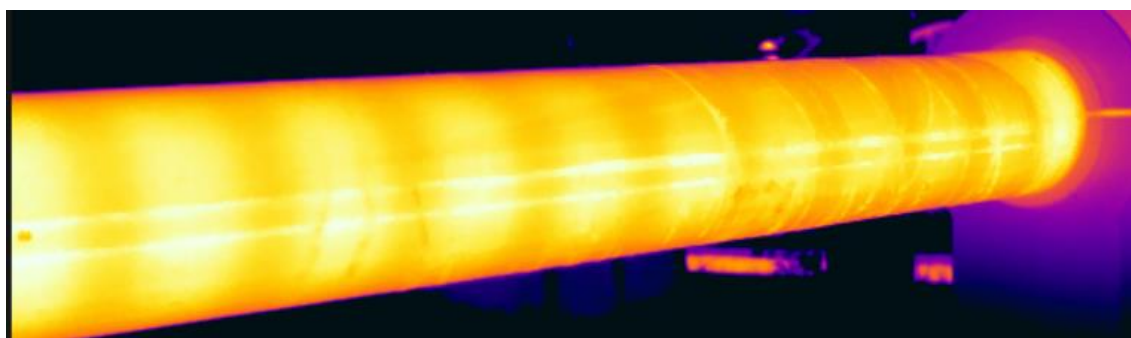


Ilustración 8: Bomba HPS #4

### RESULTADOS DE LA TERMOGRAFIA

Filtro.-Se evidencia filtros con by pass por no soportar cantidad de sedimentos.

Pulmones.-Se evidencia diferencia de temperaturas por posible acumulación de sedimento perdida de espesor de la tubería.

### RECOMENDACION

Tanque de pulido. Habilitar el nuevo tanque de agua de formación lo antes posible.

Pulmones.-Realizar limpieza trimestral de los pulmones de succión Booster y HPS.

Bombas HPS. Realizar limpieza trimestral con agentes químicos a las bombas HPS, para esta actividad se recomienda que se utilice el químico biodegradables (0000105681-1, DEGREASER & SOLVENTE BIODEGRADER / 55gls SOLVENT 100) los cuales se requiere comprobar su efectividad para aplicarlos de forma cotidiana.



## ANEXO J: Informe de termografía, tanque de lavado, estación Pichincha.

REPORTE N°	UBICACIÓN			PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-098-2015	ESTACION PICHINCHA			N/D: INSPECCION			OT-150567152	
	TANQUE DE LAVADO T-0056							
ANÁLISIS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE		<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO		<input type="checkbox"/>
REALIZADOS	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO		<input type="checkbox"/>	CORRIENTES		<input type="checkbox"/>

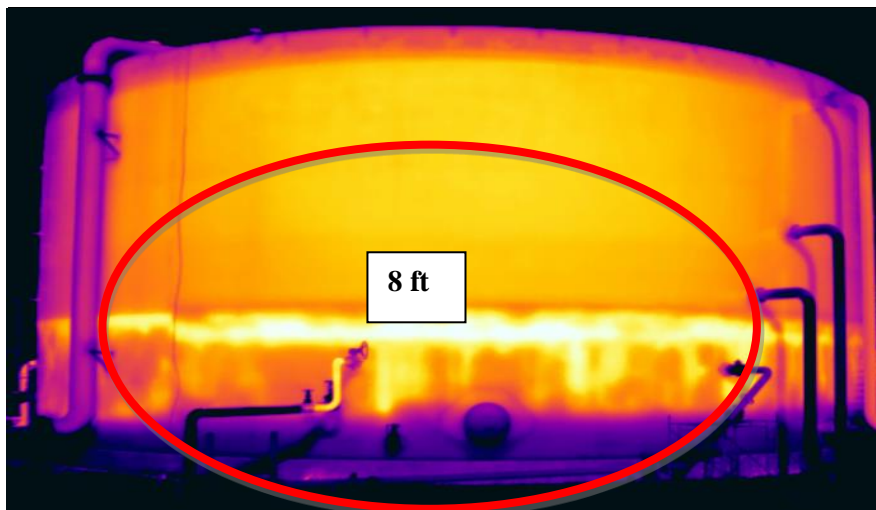


Ilustración 1: Tanque de lavado altura de sedimentos 3,8 ft (1,15m)..

### RESULTADOS DE LA TERMOGRAFIA

Se evidencia presencia de sedimentos en el fondo del tanque 3,8 ft (1,15 m) en todo el tanque y en la altura de conexión para reinyección de agua (2,50 metros).

### RECOMENDACION

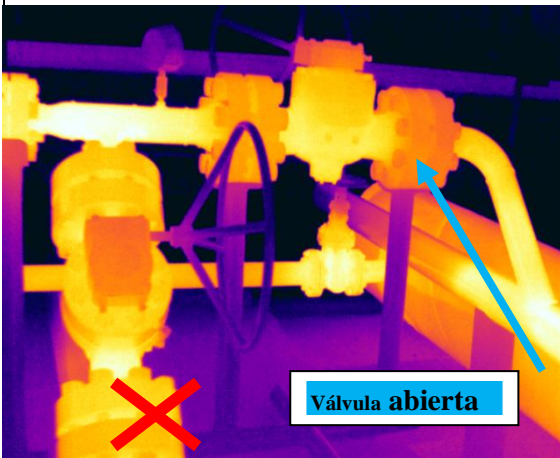
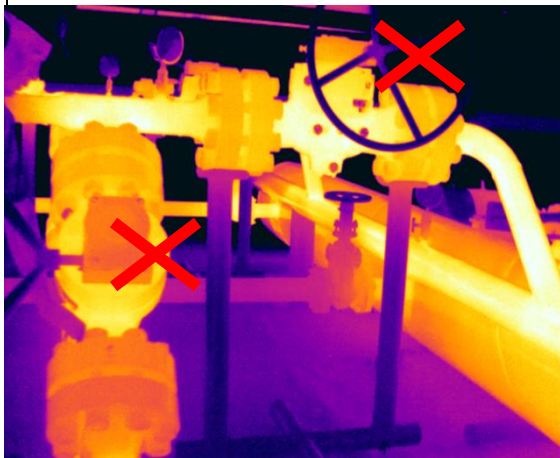
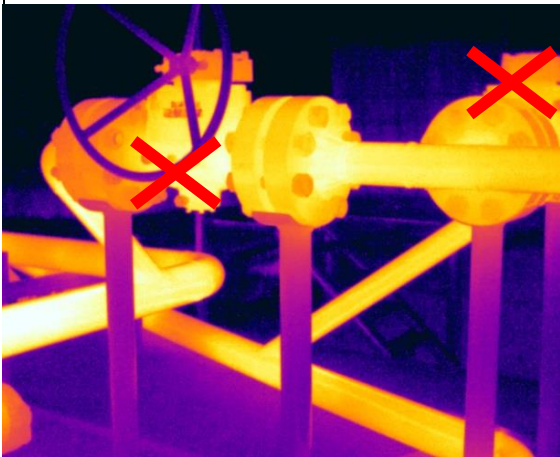
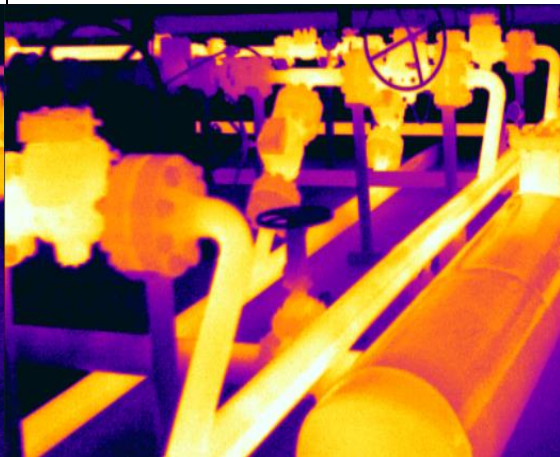
Realizar evacuación y tratamiento de sedimentos tan pronto como sea posible.

Planificar el tratamiento adecuado de sólidos, por ningún motivo ingresar este fluido nuevamente al proceso.

**ANEXO K: Informe de termografía, válvulas de descarga HPS, estación Tetete.**

REPORTE N°	UBICACIÓN			PERMISO DE TRABAJO			ORDEN DE TRABAJO	
LB-TER-130-2015	ESTACION TETETE			N/D: INSPECCION			OT-150786517	
	VALVULAS REINYECCION DE AGUA							
ANÁLISIS	VIBRACIONES	<input type="checkbox"/>	ANÁLISIS ACEITE	<input type="checkbox"/>	ULTRASONIDO			<input type="checkbox"/>
REALIZADOS	TERMOGRAFÍA	<input checked="" type="checkbox"/>	ACEITE DIELECTRICO	<input type="checkbox"/>	CORRIENTES			<input type="checkbox"/>

**ANTECEDENTES:** Mantenimiento Mecánico solicita evaluación termográfica debido a problemas con empaques en cámara de succión en las unidades HPS.

UNIDAD #2	UNIDAD #1
	
UNIDAD #3	VISTA GENERAL
	

**RESULTADOS DE LA TERMOGRAFIA**

Todas las válvulas de descarga del sistema que están cerradas presentan fuga interna.

**RECOMENDACION**

Cambiar las 6 válvulas de las tres unidades

# ANEXO L: Resultados del software Relex versión evaluación, campo Tetete.

# Relex

**OpSim  
Calculation Results**

File Name: TETETE RYA.rfp  
Identifier: RBD TETETE  
Calc Method: Monte Carlo Simulation  
MTBF (hrs):  
MTTF (hrs): 3,740

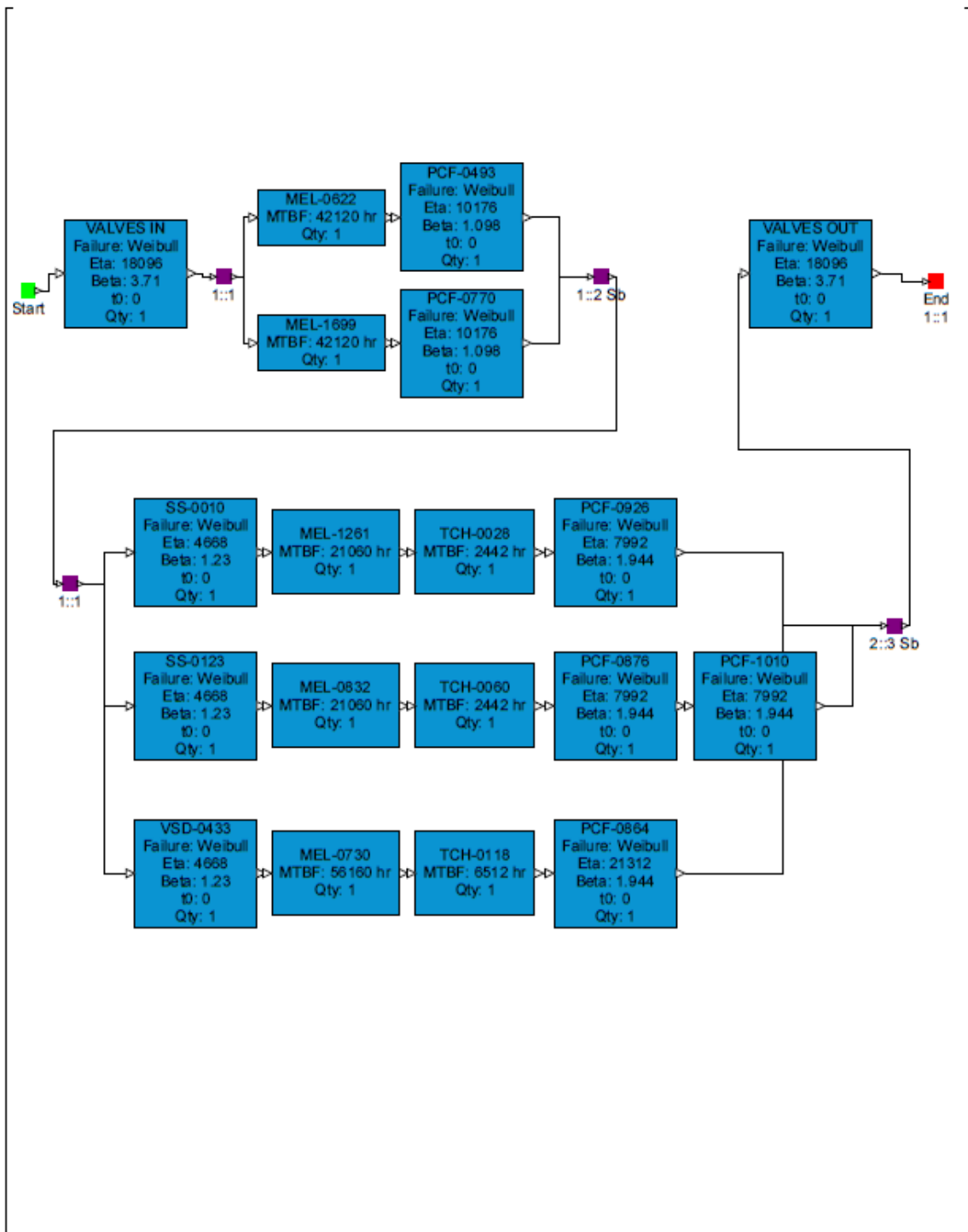
Results at Time (hrs): 3000  
Reliability: 0.572000  
Availability: 0.997000  
No. of Failures: 0.50  
Total Downtime: 4.82

Time	Reliability	Unreliability	Availability	Unavailability	Failure Rate	Number of Failures	Total Downtime
0	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	N/A	0.000000	0.000000
103.45	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
206.9	0.998000	0.002000	0.999000	0.001000	19.352692	0.002000	0.006913
310.34	0.996000	0.004000	1.000000	0.000000	19.391514	0.004000	0.020000
413.79	0.994000	0.006000	1.000000	0.000000	19.430492	0.006000	0.030000
517.24	0.988000	0.012000	1.000000	0.000000	58.526919	0.012000	0.060000
620.69	0.980000	0.020000	1.000000	0.000000	78.591219	0.020000	0.098000
724.14	0.965000	0.035000	0.997000	0.003000	149.103213	0.035000	0.191142
827.59	0.956000	0.044000	0.999000	0.001000	90.578487	0.044000	0.288152
931.03	0.947000	0.053000	0.998000	0.002000	91.435259	0.053000	0.417103
1034.48	0.930000	0.070000	0.998000	0.002000	175.106901	0.070000	0.534963
1137.93	0.919000	0.081000	0.999000	0.001000	115.018483	0.081000	0.637958
1241.38	0.894000	0.106000	0.999000	0.001000	266.610023	0.108000	0.778634
1344.83	0.875000	0.125000	0.998000	0.002000	207.658259	0.130000	0.962490
1448.28	0.862000	0.138000	1.000000	0.000000	144.696618	0.143000	1.129376
1551.72	0.837000	0.163000	0.999000	0.001000	284.501602	0.169000	1.276364
1655.17	0.819000	0.181000	0.996000	0.004000	210.153204	0.189000	1.425134
1758.62	0.803000	0.197000	0.999000	0.001000	190.717242	0.206000	1.610085
1862.07	0.785000	0.215000	0.999000	0.001000	219.152963	0.228000	1.815529
1965.52	0.761000	0.239000	0.996000	0.004000	300.153479	0.259000	2.104278
2068.97	0.742000	0.258000	0.997000	0.003000	244.413109	0.285000	2.297785
2172.41	0.726000	0.274000	0.998000	0.002000	210.725874	0.303000	2.458905
2275.86	0.706000	0.294000	0.996000	0.004000	270.036181	0.325000	2.669258
2379.31	0.682000	0.318000	0.995000	0.005000	334.327270	0.352000	3.064881
2482.76	0.658000	0.342000	0.997000	0.003000	346.305690	0.383000	3.363879
2586.21	0.642000	0.358000	1.000000	0.000000	237.960734	0.402000	3.562995
2689.66	0.629000	0.371000	0.999000	0.001000	197.751454	0.417000	3.706148
2793.1	0.607000	0.393000	0.996000	0.004000	344.157168	0.450000	4.031289
2896.55	0.591000	0.409000	0.999000	0.001000	258.223479	0.473000	4.323996
3000	0.572000	0.428000	0.997000	0.003000	315.877918	0.501000	4.822927

File Name: TETETE RYA.rfp  
Identifier: RBD TETETE

Part Number	Description	Failure Distribution	Failure Parameter 1	Failure Parameter 2	Failure Parameter 3
		Exponential	21060.000000		
		Weibull	10176.000000	1.098	0.000
		Exponential	42120.000000		
		Weibull	10176.000000	1.098	0.000
		Weibull	18096.000000	3.710	0.000
		Weibull	4668.000000	1.230	0.000
		Exponential	21060.000000		
		Exponential	2442.000000		
		Exponential	42120.000000		
		Weibull	4668.000000	1.230	0.000
		Weibull	18096.000000	3.710	0.000
		Exponential	2442.000000		
		Weibull	7992.000000	1.944	0.000
		Weibull	4668.000000	1.230	0.000
		Exponential	56160.000000		
		Exponential	6512.000000		
		Weibull	21312.000000	1.944	0.000
		Weibull	7992.000000	1.944	0.000
		Weibull	7992.000000	1.944	0.000

File Name: TETETE RYA.rfp



## **ANEXO M: Análisis del modo y efectos de falla (AMEF) para HPS.**

### **MARCO TEORICO.**

El AMEF corresponde a los acrónimos de Análisis Modal de Fallos y Efectos, y consiste en una herramienta estructurada para la prevención de los defectos mediante el análisis de las formas en que puede fallar un producto o proceso, sus consecuencias y estudio de las causas que provocan esos modos de fallos, y con ello decidir sobre la toma de acciones recomendadas en función del nivel de importancia del modo de fallo.

Normalmente se conoce como FMEA y si se añade un Análisis de Criticidad se la conoce como FMECA. Existen varios tipos de AMFE, se aclara que en este documento está basado en el AMFE de proceso.

### **Historia**

En la década de 1940 se inicia por la milicia de EEUU y se publica el estándar MIL-P-1629 en 1949

En la década de 1960 la NASA realiza procedimientos similares al FMECA con orígenes paralelo a la milicia. En 1966 la NASA Lanza su procedimiento de FMECA para el uso del programa APOLO.

1967: La sociedad de Ingenieros Automóviles lanza su publicación.

1980: Comisión Electrotécnica Internacional Publico IEC 812 (Ahora IEC 60812)

1991: El estándar Europeo lanza el estándar EN 60812 a través de la BSI.

### **Objetivos del AMFE de proceso**

Analizar las características del proceso para reconocer y evaluar los modos de fallos potenciales.

Identificar los modos de fallo, indicar las medidas correctoras o acciones para eliminarlos o reducir la probabilidad de que sucedan.

Identificar las características críticas y significativas.



Trabajar en equipo para la prevención de problemas.

Aportar mejoras al plan de mantenimiento.

**NPR** (RPN – Risk Priority Number): Número prioritario de riesgo, corresponde a:

$NPR = \text{Ocurrencia} \times \text{Detectabilidad} \times \text{Efectos}$

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

El proceso está basado en recopilación de varias normativas internacionales de las cuales se ha tomado como referencia principal para la elaboración de formatos las siguientes.

MIL-STD-1629A (Marco conceptual)

ISO 14224-2004 (Modos de falla)

EN 60812 (Específica y Formatos)

Placencia, (2014), Presenta 8 pasos importantes a considerar para el desarrollo del presente análisis.

Paso N° 1. Seleccionar forma de trabajo.

Se realiza el presente análisis tomando en cuenta que es imposible que el AMFE se complete satisfactoriamente mediante el trabajo de una sola persona, pues se trata de una herramienta de trabajo en equipo, sin embargo es importante la contribución del autor para poder realizar el proceso de mejora continua con el grupo establecido posteriormente.

Paso N° 2. Establecer los formatos y escalas de evaluación.

Paso N° 3. Búsqueda de información de los equipos a realizar FMEA.

Es importante conocer el sistema de reinyección de agua como uno de los pilares fundamentales que soportan la producción del campo, pues gracias a este se elimina el desecho que produce la extracción del petróleo, para ello es necesario aplicar sistemas de bombeo entre los más importantes está el de unidades HPS.

Paso N° 4. Definir los límites de los equipos y sus funciones

Se presentan las funciones específicas o secundarias de cada elemento dentro de la unidad HPS.

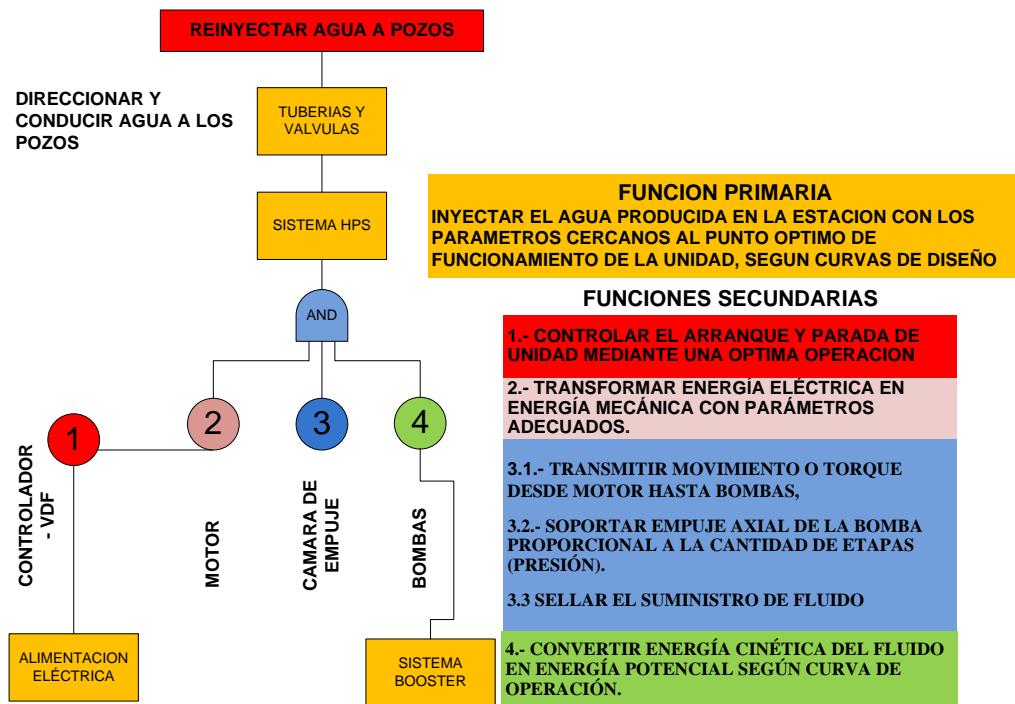
**Controlador o Variador de frecuencia.** Controlar el arranque y parada de unidad mediante una óptima operación

**Motor Eléctrico.** Transformar energía eléctrica en energía mecánica con parámetros adecuados.

**Cámara de empuje.** Transmitir movimiento o torque desde motor hasta bombas, soportar empuje axial de la bomba proporcional a la cantidad de etapas (presión), sellar el suministro de fluido

**Bombas centrífugas Multietapas.** Convertir energía cinética del fluido en energía potencial según curva de operación.

En la figura se presenta el resumen de los equipos a los cuales aplica el presente análisis donde se puede apreciar las funciones que debe cumplir cada activo, según su capacidad operativa.



Realizado por: Arias, José, 2015

Paso N° 5. Definir Modos de Fallas, Causas y Efectos Potenciales de Fallos.

Se tomó como referencia La norma ISO 14224 para especificar los modos de falla, las posibles causas que pueden provocarlas, y se ha determinado los efectos que pueden estar asociados al funcionamiento, seguridad del personal y medio ambiente.

Paso N° 6 Agregar actividades de Mantenimiento actuales

Evaluar los parámetros de Defectibilidad, Ocurrencia y Efectos y el cálculo del NPR, de acuerdo al mantenimiento actual.

Paso N° 7 Proponer actividades de mantenimiento para mitigar NPR altos y evaluar nuevamente la Detectabilidad y Frecuencia de Falla propuesta



En una hoja de cálculo se desarrolla las actividades correspondientes a los pasos 5, 6 y 7 se presenta la hoja FMECA ISO 14224, EN 60812, la cual es puesta a consideración de la organización para su aplicación o análisis y cambios respectivos.

**FUNCION** INYECTAR EL AGUA PRODUCIDA EN LA ESTACION CON LOS PARAMETROS CERCANOS AL PUNTO OPTIMO DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD, SEGUN CURVAS DE DISEÑO

Área	Equipo	Componente	Falla Funcional	Modo de Falla	ISO 14224	Causas	ISO 14224	Efectos	Frecuencia de fallas (fallos por año)		
RYA	HPS	Motor eléctrico	Trabaja fuera de parámetro	Vibración	VIB	Error de instalación (desalineación anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,5		
		Motor eléctrico		Vibración	VIB	Error de funcionamiento (Calidad de energía)	OPSPRR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,5		
		Motor eléctrico		Vibración	VIB	Error de Mantenimiento (Desbalance, ajustes, Soltura mecánica)	MNTERR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,5		
		Motor eléctrico		Vibración	VIB	Desgaste esperado normal	EXPWNT	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,5		
		Motor eléctrico		Vibración	VIB	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general (carga en ruido)	FAOQGN	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,5		
		Motor eléctrico		Ruido	NOI	Desgaste esperado normal	EXPWNT	Desgaste rotamientos cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
		Motor eléctrico		Fugas	ELU	Error de mantenimiento (Exceso de grasa visible)	MNTERR	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
		Motor eléctrico		Baja Velocidad	LOO	Error de funcionamiento	OPSPRR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,50		
		Motor eléctrico		Parámetros desviados	PDE	Error de instalación (desalineación anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,20		
		Motor eléctrico		Parámetros desviados	PDE	Error de funcionamiento (Calidad de energía)	OPSPRR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,20		
		Motor eléctrico		Parámetros desviados	PDE	Error de Mantenimiento (Desbalance, ajustes, Soltura mecánica)	MNTERR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,20		
		Motor eléctrico		Parámetros desviados	PDE	Desgaste esperado normal	EXPWNT	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,20		
		Motor eléctrico		Parámetros desviados	PDE	Error de funcionamiento (sensor des calibrado muestra otro valor)	OPSPRR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,20		
		Motor eléctrico		Problemas menores	SER	Material inadecuado (deformación)	IMPWAT	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,25		
		Motor eléctrico		Problemas menores	SER	Error de mantenimiento (holguras)	MNTERR	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,25		
		Motor eléctrico		Problemas menores	SER	Relacionados a la operación y mantenimiento (corrosión)	FAOQGN	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,25		
		Motor eléctrico		Problemas menores	SER	Capacidad inadecuada (cables recalentados)	IMPWAT	Desgaste prematuro cambio de motor-reparación, no detiene proceso, no daño	0,25		
		Motor eléctrico		Falla al apagado	STP	Error de funcionamiento (tablero de control)	OPSPRR	El motor no se apaga desde el tablero de control cuando se requiere, no detiene	0,10		
		Motor eléctrico		Sobrecalentamiento	STD	Error de funcionamiento (Rodamientos, bobinado)	OPSPRR	Motor no trabaja correctamente, no detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
		Motor eléctrico		Defecto no especificado	UNK	Desconocido	UNKN	Motor no trabaja correctamente, no detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
RYA	HPS	Motor eléctrico	No genera movimiento	Instrumentación averiada	AIR	Error de instalación	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,25		
		Motor eléctrico		Instrumentación averiada	AIR	Error de funcionamiento	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,25		
		Motor eléctrico		Instrumentación averiada	AIR	Error de Mantenimiento	MNTERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,25		
		Motor eléctrico		Instrumentación averiada	AIR	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general	FAOQGN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,25		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Error de instalación (Adherencias)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Error de mantenimiento (Adherencias)	MNTERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Error de funcionamiento (Falla de control)	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Diseño inadecuado (Cortocircuito)	IMPWAT	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general (Circuito)	FAOQGN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Falla al arranque	FTS	Varios general (Falla de alimentación)	MSGEN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
		Motor eléctrico		Parada por rotura de algo	BRD	Fabricación error (roturas)	FABERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
		Motor eléctrico		Deficiencia estructural	STD	Fabricación error (roturas, fisuras)	FABERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
		Motor eléctrico		Parada por rotura de algo	BRD	Error de funcionamiento (Roturas, rodamientos rozamientos)	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,50		
		Motor eléctrico		Sobrecalentamiento	OHE	Capacidad inadecuada (sobrecalentamiento TCH)	IMPWAT	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
		Motor eléctrico		Deficiencia estructural	STD	Error de instalación (roturas, fisuras)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
		Motor eléctrico		Deficiencia estructural	STD	Varios general	MSGEN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
		RYA	HPS	Cámara de empuje TCH	Trabaja fuera de parámetro	Vibración	VIB	Error de instalación (desalineación anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	1
				Cámara de empuje TCH		Vibración	VIB	Error de funcionamiento (Calidad de energía)	OPSPRR	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	1
				Cámara de empuje TCH		Vibración	VIB	Desgaste esperado normal (luego de al menos 5 años de función)	EXPWNT	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	0,33
				Cámara de empuje TCH		Vibración	VIB	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general (carga en ruido)	FAOQGN	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	0,33
Cámara de empuje TCH				Ruido	NOI	Desgaste esperado normal (luego de al menos 5 años de función)	EXPWNT	Desgaste rotamientos cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
Cámara de empuje TCH				Fugas	ELP	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Falla sello mecán)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
Cámara de empuje TCH				Fugas	ELP	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Fuga por bridas o cuerpo de bomb)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
Cámara de empuje TCH				Fugas	ELU	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Exceso de aceite)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
Cámara de empuje TCH				Parámetros desviados	PDE	Error de instalación (desalineación anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	1,00		
Cámara de empuje TCH				Parámetros desviados	PDE	Desgaste esperado normal (luego de al menos 5 años de función)	EXPWNT	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	0,33		
Cámara de empuje TCH				Problemas menores	SER	Relacionadas a la operación y mantenimiento (corrosión, couplin)	FAOQGN	Desgaste prematuro cambio de TCH-reparación, no detiene proceso, no	1,00		
Cámara de empuje TCH				Otro no especificado	OTH	Varios general	MSGEN	TCH no trabaja correctamente, no detiene proceso, no daño seguridad, no	1,00		
Cámara de empuje TCH	No transmite movimiento,			Instrumentación averiada	AIR	Error de funcionamiento (No permite arrancar motor)	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	1,00		
Cámara de empuje TCH				Instrumentación averiada	AIR	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general ( No perm	FAOQGN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	1,00		
Cámara de empuje TCH				Falla al arranque	FTS	Error de instalación (Adherencias Rodamientos trabados)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,20		
Cámara de empuje TCH				Falla al arranque	FTS	Error de mantenimiento (Adherencias Mal montaje luego de repi	MNTERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,20		
Cámara de empuje TCH				Parada por rotura de algo	BRD	Error de funcionamiento (Roturas, rodamientos rozamientos)	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,33		
Cámara de empuje TCH				Sobrecalentamiento	OHE	Capacidad inadecuada (sobrecalentamiento TCH)	IMPWAT	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,50		
Cámara de empuje TCH				Deficiencia estructural	STD	Fabricación error (roturas, fisuras)	FABERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Cámara de empuje TCH				Deficiencia estructural	STD	Error de instalación (roturas, fisuras)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Cámara de empuje TCH		Deficiencia estructural	STD	Varios general	MSGEN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10				
RYA	HPS	Bombas Multitapas	Trabaja fuera de parámetro	Vibración	VIB	Error de instalación (desalineación entre bombas- bridas, anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,25		
		Bombas Multitapas		Vibración	VIB	Error de Mantenimiento (Reparación incorrecta)	MNTERR	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,25		
		Bombas Multitapas		Vibración	VIB	Desgaste esperado normal (luego de al menos 5 años de función)	EXPWNT	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,25		
		Bombas Multitapas		Vibración	VIB	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general (carga en ruido)	FAOQGN	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,25		
		Bombas Multitapas		Ruido	NOI	Desgaste esperado normal (luego de al menos 5 años de función)	EXPWNT	Desgaste rotamientos Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,20		
		Bombas Multitapas		Fugas	ELP	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Falla sello mecán)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
		Bombas Multitapas		Fugas	ELP	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Fuga por bridas o cuerpo de bomb)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
		Bombas Multitapas		Fugas	ELU	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Exceso de aceite)	FAOQGN	Contaminación y desgaste prematuro de retenedor, no detiene proceso, no	2,00		
		Bombas Multitapas		Parámetros desviados	PDE	Error de instalación (desalineación anclaje)	INSERR	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	1,00		
		Bombas Multitapas		Parámetros desviados	PDE	Desgaste esperado normal (Desgaste de Impeller, pérdida de pre	EXPWNT	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
		Bombas Multitapas		Parámetros desviados	PDE	Relacionadas a la operación y mantenimiento (Instrumentación c	FAOQGN	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	1,00		
		Bombas Multitapas		Salida por debajo de especificación	LOO	Capacidad inadecuada (Trabaja alejado del punto óptimo de oper	IMPWAT	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
		Bombas Multitapas		Salida por debajo de especificación	LOO	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general (Fluido c	INSERR	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	2,00		
		Bombas Multitapas		Salida por debajo de especificación	LOO	Error de funcionamiento (Cavitación, sin presión de succión, no l	INSERR	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	2,00		
		Bombas Multitapas		Sobrecalentamiento	OHE	Capacidad inadecuada (sobrecalentamiento TCH)	IMPWAT	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,50		
		Bombas Multitapas		Problemas menores	SER	Relacionadas a la operación y mantenimiento (corrosión, falla de	FAOQGN	Desgaste prematuro Impeller- bomba-reparación, no detiene proceso, no	0,25		
		Bombas Multitapas		Otro no especificado	OTH	Varios general	MSGEN	Impeller-bomba no trabaja correctamente, no detiene proceso, no	0,25		
		RYA	HPS	Bombas Multitapas	No convierte energía cinética en energía potencial ( No eleva	Instrumentación averiada	AIR	Error de funcionamiento (No permite arrancar motor)	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	2,00
				Bombas Multitapas		Instrumentación averiada	AIR	Relacionados a la Operación / Mantenimiento - general ( No perm	FAOQGN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	2,00
				Bombas Multitapas		Falla al arranque	FTS	Error de instalación (Adherencias Impeller trabados)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,50
Bombas Multitapas				Falla al arranque	FTS	Error de mantenimiento (Adherencias Mal montaje luego de repi	MNTERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,20		
Bombas Multitapas				Falla al arranque	FTS	Relacionados a la operación y mantenimiento (Falla sistema bomb	FAOQGN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,50		
Bombas Multitapas				Parada por rotura de algo	BRD	Error de funcionamiento (Roturas, válvulas cerradas, tuberías tap	OPSPRR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	3,00		
Bombas Multitapas				Deficiencia estructural	STD	Fabricación error (roturas, fisuras)	FABERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Bombas Multitapas				Deficiencia estructural	STD	Error de instalación (roturas, fisuras)	INSERR	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Bombas Multitapas				Deficiencia estructural	STD	Varios general	MSGEN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Bombas Multitapas				Deficiencia estructural	STD	Causas de diseño relacionados - general (necesita investigación	DESGEN	Indisponibilidad del motor, detiene proceso, no daño seguridad, no	0,10		
Bombas Multitapas	Operación incorrecta y esporádica			SPO	Error de funcionamiento (Falla electrónica, falla HMI)	OPSPRR	Reparación - cambio de controlador, si detiene proceso, no	1			
Bombas Multitapas	Falla incorrecta - Errada			FTF	Error de funcionamiento (Falla electrónica, falla HMI)	OPSPRR	Reparación - cambio de controlador, si detiene proceso, no	1			
Bombas Multitapas	Falla cuando se requiere			FTF	Error de funcionamiento (Falla electrónica, falla HMI)	OPSPRR	Reparación - cambio de controlador, si detiene proceso, no	1			
Bombas Multitapas	Falla al arranque			FTF	Error de funcionamiento (Falla electrónica, falla HMI)	OPSPRR	Reparación - cambio de controlador, si detiene proceso, no	1			

MANTENIMIENTO ACTUAL									
Frecuencia de Falla	Detectabilidad	Efecto						NPR SM	
		SSO	AMB	REP	PROD	CAL	MTTR		
3	3	1	1	1	5	5	2	135	
3	3	5	1	1	3	5	5	255	
3	3	1	1	1	2	5	5	228	
3	5	1	1	2	5	5	5	285	
3	3	3	1	1	1	5	5	135	
3	4	1	1	2	5	5	5	228	
3	2	1	1	1	1	5	5	90	
3	3	1	1	1	1	5	5	135	
2	3	3	1	1	1	5	5	90	
2	3	1	1	1	3	5	5	170	
2	3	1	1	2	5	5	5	96	
2	3	1	1	3	5	5	5	102	
2	3	1	1	1	1	5	5	90	
2	4	1	1	3	5	5	5	160	
2	4	1	1	1	2	5	5	120	
2	4	1	1	1	1	5	5	120	
2	4	1	1	2	5	5	5	152	
2	3	3	1	2	5	5	2	108	
1	5	1	1	1	2	5	5	80	
1	5	1	1	2	5	5	5	80	
1	5	1	1	2	5	5	2	240	
3	3	1	1	1	1	5	5	90	
3	3	1	1	2	5	5	2	96	
2	3	3	1	1	1	5	5	90	
2	3	1	1	3	5	5	5	160	
2	3	1	1	3	5	5	5	160	
2	3	1	1	4	5	5	5	126	
2	3	1	1	2	5	5	2	96	
2	3	1	1	2	5	5	2	96	
1	5	1	1	4	5	5	5	105	
1	5	1	1	4	5	5	5	105	
3	3	1	1	1	1	5	5	105	
3	3	1	1	1	5	5	5	162	
3	3	1	1	1	4	5	5	162	
3	1	5	1	3	5	5	5	100	
3	1	5	1	3	5	5	5	100	
3	1	5	1	1	2	5	5	80	
3	3	1	1	1	1	5	5	153	
3	4	1	1	3	5	5	4	160	
3	4	1	1	3	5	5	5	160	
3	4	1	1	3	5	5	4	228	
3	4	1	1	3	5	5	5	120	
4	3	1	1	2	5	5	6	80	
4	3	1	1	2	5	5	6	80	
4	3	1	1	2	5	5	6	192	
4	3	1	1	1	5	5	4	153	
4	3	1	1	3	5	5	4	153	
3	3	1	1	1	1	5	5	135	
3	4	1	1	2	5	5	4	216	
3	3	1	1	1	1	5	5	135	
3	3	1	1	1	5	5	2	135	
2	4	1	1	3	5	5	5	160	
2	4	1	1	3	5	5	5	160	
2	4	1	1	3	5	5	5	160	
2	4	1	1	3	5	5	2	204	
1	5	1	1	3	5	5	5	100	
1	5	1	1	3	5	5	5	100	
1	5	1	1	3	5	5	2	85	
2	3	1	1	2	5	5	4	108	
2	5	1	1	4	5	5	5	200	
2	5	1	1	4	5	5	5	210	
2	5	1	1	4	5	5	4	120	
2	5	1	1	4	5	5	5	210	
4	1	1	1	2	5	5	6	80	
4	1	1	1	2	5	5	6	80	
4	4	1	1	2	5	5	6	320	
4	4	1	1	2	5	5	6	216	
4	5	1	1	2	5	5	6	200	
4	3	1	1	1	5	5	2	180	
4	2	4	1	2	5	5	4	144	
4	3	1	1	1	1	5	4	272	
4	4	1	1	1	1	5	4	272	
4	4	1	1	3	5	5	4	152	
2	4	1	1	3	5	5	4	152	
4	4	1	1	3	5	5	4	304	
4	3	1	1	1	5	5	4	204	
4	3	1	1	2	5	5	4	216	
2	5	1	1	5	5	5	5	176	
4	5	1	1	5	5	5	5	220	
4	4	1	1	2	5	5	5	304	
4	4	1	1	3	5	5	5	320	
1	5	1	1	4	5	5	5	105	
5	1	5	1	2	5	5	5	95	
1	5	1	1	2	5	5	4	90	
1	5	1	1	2	5	5	4	105	
4	4	1	1	1	5	5	6	304	
4	4	1	1	2	5	5	6	320	
4	4	1	1	2	5	5	6	320	
4	4	1	1	2	5	5	6	320	

## ANALISIS DE RESULTADOS

En el gráfico de barras se puede evidenciar que es técnicamente factible aplicar los criterios y frecuencias de mantenimiento recomendados, se puede apreciar la reducción significativa de riesgo al aplicar las medidas recomendadas.



*Realizado por: Arias, José, 2015*

Se presenta las actividades de mantenimiento recomendadas a las cuales debe darse prioridad.

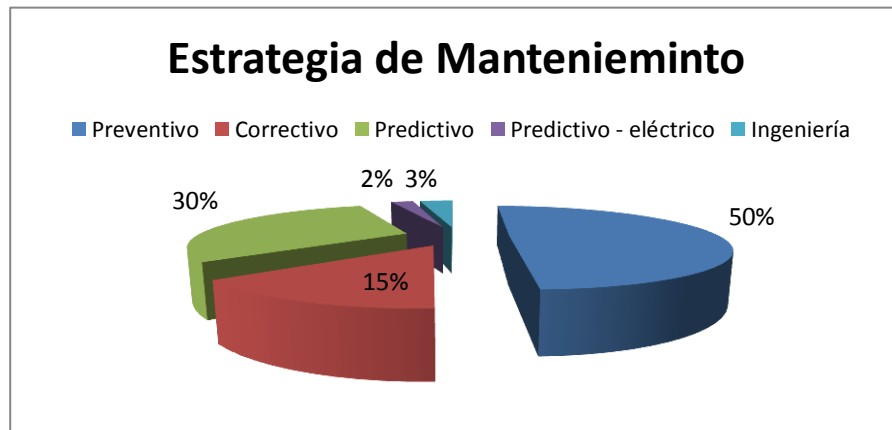
El resultado del análisis muestra que debe darse prioridad al mantenimiento preventivo, y realizar un cambio significativo al trabajar en horas de operación o periodos de 6 meses (lo que ocurra primero).

El mantenimiento Predictivo con menor porcentaje pero no menos importante debe ser potencializado, con análisis mejorados para poder adelantarnos a la falla catastrófica.

El mantenimiento correctivo se mantiene presente, pues es necesario dejar que fallen ciertos elementos que resulta inútil creer que se puede solucionar con mantenimiento, errores de diseño, de sobrecargas a los equipos y deficiencias estructurales.

Se debe implementar mantenimiento Predictivo en la parte eléctrica como es el análisis de calidad de energía que en una gran cantidad de ocasiones ha provocado daños irreversibles.

Finalmente aparece un ligero porcentaje dentro del análisis pero al parecer es el más importante dentro del proceso por estar relacionado directamente con las condiciones operativas, en este punto Producción debería ser el soporte fundamental sobre todo en las decisiones conjuntas e interacción con el departamento de Mantenimiento.



*Realizado por: Arias, José, 2015*

## CONCLUSIONES

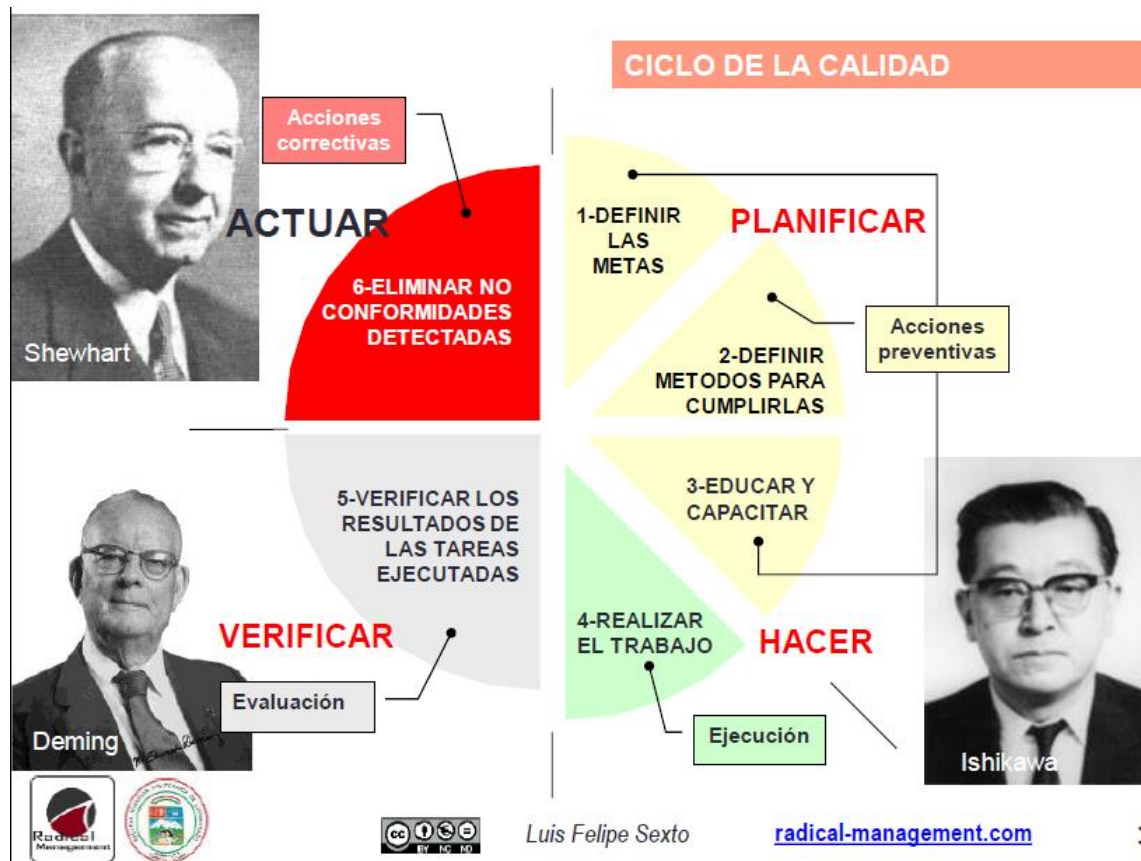
Los contextos operativos de todos los sistemas de Reinyección de agua del Bloque 57 Son similares por lo que se realiza un solo AMFE de proceso para todas las unidades HPS.

El formato establecido puede tomarse como referencia para realizar los análisis de otros sistemas, pues está considerando normativa internacional, tiene referencia con la norma ISO 14224 y con el software de gestión Máximo.

## RECOMENDACIÓN

Crear el grupo de análisis multidisciplinario los cuales deberán hacer revisiones periódicas a este tipo de documentación y así establecer criterios de mejora continua.

## ANEXO N: Mejora continua según expertos



Fuente: Sexto, L (2014, p.6)

Algoritmos de ciclos de mejora					
Ciclo PHVA	Ruta de la Calidad	Ford Global 8d's	Chrysler 7-Step	La Hoja de los 6 Pasos	SEIS SIGMA D-Md-A-M-C
PLANEAR	Definir el Proyecto	Prepararse para el proceso de Global 8d's Establecer el equipo Definir el problema	Definir el problema	Definir el problema	Definir el problema
	Conocer la situación actual y describir el problema	Desarrollar acciones de Contención Interinas (ICAs)	Acciones Internas y de Contención	Acción correctiva inmediata	Medir
	Analizar las causas	Definir y verificar la causa raíz y punto de escape	Analizar causa raíz	Análisis de causa raíz y plan de acción	Analizar
	Establecer contramedidas	Elegir y verificar las Acciones Correctivas Permanentes			
HACER	Ejecutar contramedidas	Implementar y validar las acciones correctivas permanentes	Establecer Acciones Permanentes	Acción correctiva definitiva y plan de acción	Mejorar
VERIFICAR	Verificar resultados		Verificación	Validación	
ACTUAR	Estandarizar	Prevenir la repetición	Control	Estandarización	Controlar
	Definir nuevo proyecto y reflexión	Reconocer al equipo y sus contribuciones	Prevención		

Logos at the bottom include Radical Management, a university seal, and Creative Commons BY-NC-ND. The text "Luis Felipe Sexto" and the website "radical-management.com" are also present.

Fuente: Sexto, L (2014, p.32).

## ANEXO O: Limpieza de tanques en operación.

Se sabe de la existencia de un sistema de limpieza de tanques sin que estos salgan de operación, habría que requerir de un piloto para evaluación.



Fuente: Integridad Mecánica B57 Libertador, 2015